www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

5e JAARGANG NUMMER 8 AUGUSTUS 1940

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

METALEN ALS GASBINDERS

door J. D. FAST. 621.528 : 546.431 + 546.831

Voor het verkrijgen van het vereischte hoogvacuum in radiobuizen, röntgenbuizen, enz. en vooral voor het handhaven van het vacuum na het afsmelten maakt men o.a. gebruik van metalen, welke gassen opnemen en vasthouden. In het bijzonder past men hiervoor barium en zirconium toe. De eigenschappen, waarop de werking van deze gasbinders berust, worden in dit artikel besproken. In het geval van barium en verwante metalen heeft men te doen met een chemische aantasting van het metaal onder vorming van een nieuwe fase, waarbij het essentieele is, dat de aantasting (in tegenstelling met hetgeen bij corrosiebestendige metalen gewenscht is) steeds kan voortschrijden, doordat geen dichte oppervlaktelagen van reactieproducten ontstaan. In het geval van zirconium berust de werking als gasbinder op het merkwaardig groote oplossend vermogen van dit metaal voor de meeste in aanmerking komende gassen. Tenslotte worden eenige details van de toepassing der genoemde gasbinders besproken.

Inleiding

Bij de fabricage van gloeilampen, radiobuizen, röntgenbuizen enz. speelt de verwijdering van lucht en andere ongewenschte gassen uit de ballons of buizen een belangrijke rol. Het evacueeren met behulp van hoogvacuumpompen is hiervoor in het algemeen niet voldoende, vooral daarom niet, omdat de wanden en electroden der buizen steeds allerlei gassen, zooals zuurstof, stikstof, waterstof, enz., als zoodanig of bijv. in de vorm van ontleedbare verbindingen bevatten en deze gassen tijdens het bedrijf, o.a. door de optredende verwarming, kunnen vrijkomen en het vacuum bederven.

Men gaat dit tegen door de buizen bij de fabricage tijdens het pompen zoodanig te verhitten, dat de in de wanden enz. aanwezige gassen reeds zooveel mogelijk worden afgegeven. Toch blijft altijd nog de mogelijkheid van vrijkomen van geringe hoeveelheden gas tijdens het bedrijf bestaan. Om deze dan onschadelijk te maken, past men zg. gasbinders toe (veelal „getters" genoemd). Dit zijn stoffen, welke op geschikte plaatsen in de te evacueeren buizen worden aangebracht en welke, evenals de wanden en electroden, gassen kunnen opnemen, met dit verschil echter, dat de gassen hierin zoo stevig worden vastgehouden, dat ze onder de in het bedrijf voorkomende omstandigheden er niet meer uit kunnen vrijkomen — en daar is het tenslotte alleen om te doen. De gasbinder werkt dus als het ware als een voortdurend aan de buis aangesloten hoogvacuumpomp. Tevens maakt hij het mogelijk bij de fabricage de pomptijden te bekorten en kleinere gasdrukken te verkrijgen, dan met de normale hoogvacuumpompen mogelijk is.

De oudste en in gloeilampen nog steeds toegepaste gasbinder is phosphorus. Voor radio- en röntgenbuizen komt deze stof niet in aanmerking, o.a. omdat hier veel hoogere vacua vereischt zijn (phosphorus heeft een betrekkelijk hooge dampspanning). Hier worden metalen als gasbinders gebruikt en wel tegenwoordig vooral barium en zirconium. In dit artikel willen we uiteenzetten, om welke redenen juist deze twee metalen speciaal als gasbinder geschikt zijn. Daarbij zal er tevens gelegenheid zijn om iets dieper in te gaan op de processen, die zich in het algemeen bij het inwerken van gassen op metalen afspelen.

De chemische aantasting van metalen door gassen. Barium als gasbinder

De eisch, dat het metaal, hetwelk we als gasbinder willen gebruiken, de hierboven genoemde gassen als zuurstof, stikstof, enz. snel en volledig moet kunnen binden, kunnen we ook zoo uitdrukken, dat het metaal gemakkelijk door deze gassen aangetast, gecorrodeerd moet kunnen worden. De gasbinders zijn dus als het ware de antipoden van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

de, technisch zoo belangrijke, corrosiebestendige metalen [1]). Deze tegenstelling zal in hetgeen volgt nog nader uitgewerkt worden.

Om gemakkelijk door de genoemde gassen gecorrodeerd te worden, moet de gasbinder in de eerste plaats aan de chemische eisch voldoen, een groote affiniteit tot zuurstof, stikstof, waterstof enz. te bezitten. Als maat voor deze affiniteit kan men in de meeste gevallen bij benadering de vormingswarmte van de metaal-gas-verbinding beschouwen. Nemen we als voorbeeld de reactie met zuurstof, dan wordt dus de eisch gesteld, dat het oxyde van het metaal, dat we als gasbinder willen gebruiken, een groote vormingswarmte heeft. Er zijn echter verschillende metalen, bijv. aluminium, tantalium, enz., die aan deze eisch voldoen en die desniettegenstaande in een zuurstofatmosfeer zeer bestendig zijn. Een groote affiniteit ten opzichte van de verschillende gassen is dus niet voldoende om de goede werking van een metaal als gasbinder te verzekeren.

Beschouwen we het genoemde voorbeeld, de aantasting van een metaal door zuurstof, wat nader, dan blijkt, dat in het algemeen het ontstane oxyde een vast laagje op het metaaloppervlak vormt. Is deze oxydelaag dicht en samenhangend, dan vereischt de verdere oxydatie een diffusie van één der reageerende stoffen (of van beide) door de laag. Bij kamertemperatuur vindt een dergelijk materiaaltransport in de vaste toestand meestal vrijwel nog niet plaats, de reactie komt dus reeds na de vorming van een dunne oxydehuid practisch tot stilstand. Een dichte, samenhangende oxydehuid beschermt dus het metaal tegen verdere oxydatie.

Vertoont de ontstane oxydelaag echter poriën en scheuren, dan kan het gas hier doorheen het onderliggende metaal bereiken, zonder dat er een diffusie in de vaste toestand bij te pas behoeft te komen. In dit geval kan dus de oxydatie steeds voortschrijden, de oxydelaag groeit evenredig met de tijd aan.

Volgens een door Pilling en Bedworth [2]) opgestelde regel ontstaat een samenhangende oxydelaag, indien het volume van het gevormde oxyde grooter is dan dat van het metaal, dat in oxyde is omgezet. Is het volume van het oxyde kleiner, dan treden poriën en scheuren in de laag op [3]). Ook bij inwerking van andere metalloiden dan zuurstof constateert men, naar gelang van het aangetaste metaal, het ontstaan van dichte dan wel van poreuze oppervlaktelagen en de genoemde regel schijnt ook daar op te gaan. Een opvallend verschijnsel is bijv., dat kalium onmiddellijk heftig met broom reageert, terwijl het met kalium chemisch zoo verwante natrium jarenlang in aanraking met broom bewaard kan worden. Het volume van kaliumbromide is kleiner dan dat van kalium, het volume van natriumbromide grooter dan dat van natrium.

Uit het bovenstaande volgt nu onmiddellijk een verdere voorwaarde, waaraan een metaal moet voldoen om als gasbinder in aanmerking te komen: op het metaal mogen zich geen dichte, beschermende lagen vormen, opdat het opnemen van gas uit de omringende atmosfeer steeds voort kan schrijden. Met name heeft deze eisch betrekking op het metaaloxyde, aangezien zuurstof een der meest gevreesde verontreinigingen in hoogvacuumbuizen is en een dichte oxydelaag ook de aantasting door andere gassen belemmert. In overeenstemming met de regel van Pilling en Bedworth moet men dus de gasbinders zoeken onder die metalen, waarvan het oxyde een kleiner volume heeft dan het metaal. Hiertoe behooren de alkalimetalen en de aardalkalimetalen. De eerstgenoemde zijn meestal niet bruikbaar, aangezien de gasbinders bijv. voor radio- en röntgenbuizen, in verband met de bedrijfscondities en de fabricagemethoden, een vrij hoog smeltpunt moeten hebben. Bovendien is de dampspanning der alkalimetalen (uitgezonderd lithium) te groot. De keuze beperkt zich dus tot de aardalkalimetalen, die dan ook inderdaad veelvuldig als gasbinders worden toegepast. Daar de chemische activiteit der aardalkalimetalen in de volgorde: magnesium, calcium, strontium, barium toeneemt, is het begrijpelijk, dat het in de inleiding reeds vermelde barium speciaal als gasbinder geschikt is.

Alvorens met ons eigenlijke onderwerp, de gasbinders, door te gaan, willen we de bovenstaande beschouwingen nog afronden door tegenover de goede gasbinders de corrosie-bestendige metalen te stellen.

Voorwaarden voor corrosiebestendigheid

Corrosiebestendigheid zal men (behalve natuurlijk onder de edele metalen, zooals goud enz.) klaarblijkelijk mogen verwachten bij die metalen, waarop zich bij de aantasting door gassen dichte, samenhangende lagen vormen. Aangezien de beschermende werking hiervan in hoofdzaak daarop berust,

[1]) We denken hierbij alleen aan corrosie door gassen, niet door vloeistoffen.

[2]) N. B. Pilling en R. E. Bedworth, J. Inst. Metals **29**, 529, 1923.

[3]) Het verschijnsel doet denken aan het in de pottenbakkerskunst wel eens toegepaste „craquelé", waarbij twee gekleurde lagen glazuur boven elkaar op het voorwerp worden aangebracht, en waarbij de bovenste laag bij het afkoelen sterker krimpt dan de onderste. De bovenste laag heeft dan na het afkoelen ontelbare kleine barsten, waardoor de kleur van de onderste laag zichtbaar wordt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

dat de reageerende stoffen gedwongen zijn door de samenhangende laag te diffundeeren, is de bestendigheid tegen corrosie grooter, naarmate de diffusiesnelheid door de laag kleiner is. Deze laatste moeten we dus nog wat nader beschouwen.

Feitelijk bestaat er reden om zich te verwonderen, dát er een diffusie plaats vindt. Dit vereischt immers het aanwezig zijn van een concentratieverval, hetgeen beteekent, dat de metaal- en gasatomen in de het oppervlaktelaagje vormende verbinding in variabele, in het algemeen dus van de exacte stoechiometrische samenstelling afwijkende verhouding aanwezig zouden zijn. Dergelijke afwijkingen zijn inderdaad grooter, naarmate er een grooter concentratieverschil van de in overmaat aanwezige deeltjes *B* in de laag kan optreden. Derhalve is het gewenscht, dat de verbinding *AB* slechts een zeer klein existentiegebied bezit.

Terloops zij hier vermeld, dat type *I* meestal optreedt, wanneer de in overmaat aanwezige (oplosbare) component *B* het metaal is, type *II*, wanneer *A* het metaal is — dit om de eenvoudige reden, dat de (positieve) metaalionen meestal belangrijk kleiner zijn dan de (negatieve) niet-metaal-ionen en derhalve gemakkelijker in de ruimten tusschen de normaal bezette roosterpunten kunnen worden ondergebracht. Hieruit ziet men, dat in de beide beschreven diffusiemechanismen

Fig. 1. Wanneer een verbinding *AB* een overmaat van de component *B* in vaste oplossing bevat, zijn er drie mogelijkheden:
I) De teveel aanwezige deeltjes *B* bevinden zich op willekeurig verspreide plaatsen tusschen de punten van het normale rooster *AB*.
II) In het rooster *AB* zijn er hier en daar plaatsen onbezet, waar zich bij de stoechiometrische samenstelling deeltjes *A* hadden moeten bevinden.
III) In het rooster *AB* zijn hier en daar deeltjes *A* vervangen door deeltjes *B*.
(De voorstelling is ontleend aan C. Wagner en W. Schottky, Z. phys. Chem. B **11**, 163, 1930.)

mogelijk. De meeste chemische verbindingen hebben in het systeem van hun componenten een zeker existentiegebied (homogeniteitsgebied), waarbinnen de atoomverhouding continu kan veranderen, zonder dat er een nieuwe fase optreedt. De eventueele overmaat van één der componenten ten opzichte van de stoechiometrische hoeveelheid is dan als het ware in vaste oplossing in de verbinding opgenomen. Hebben we te doen met een binaire verbinding van de vorm *AB*, welke een overmaat van de component *B* bevat, dan kan deze afwijking van de stoechiometrische samenstelling op drie verschillende wijzen tot stand komen, die in *fig. 1* schematisch zijn voorgesteld. In de hier ter sprake komende verbindingen tusschen een metaal en een niet-metaal zijn de componenten *A* en *B* gewoonlijk in de vorm van tegengesteld geladen ionen aanwezig. In dit geval komen wegens de sterke afstooting tusschen gelijknamige deeltjes alleen de typen *I* en *II* van fig. 1 in aanmerking:

I) de punten van het rooster *AB* zijn alle bezet en de teveel aanwezige deeltjes *B* bevinden zich op plaatsen er tusschen;

II) een gedeelte der deeltjes *A* is uit het rooster *AB* verwijderd, zoodat hierin gaten van atomaire dimensies zijn ontstaan.

Bij het eerste type vindt een diffusie plaats, doordat de deeltjes *B* van één tusschenroosterplaats naar de ernaast gelegen kunnen springen en zich op deze wijze van gebieden met groote overmaat *B* naar gebieden met kleine overmaat *B* bewegen. Bij het tweede type zijn het de deeltjes *A*, welke van gat tot gat kunnen verspringen en zoodoende door de laag diffundeeren. Deze laatste wijze van diffusie geschiedt steeds betrekkelijk snel, zoodat het voor de corrosiebestendigheid gunstiger is, wanneer de metaal-gas-verbinding alleen roosterstoringen van het type *I* kan bevatten. Verder is de diffusiesnelheid onder overigens gelijke omstandigheden het metaal de component is, welke door de laag diffundeert. Dit doet wellicht iets zonderling aan, daar men geneigd is om als vanzelfsprekend te onderstellen, dat, zoo er al iets door de oppervlaktehuid zou dringen, dit het gas zou moeten zijn. In de tot op heden onderzochte gevallen (het betreft hier onderzoekingen der laatste tien jaren) is echter gebleken, dat werkelijk het metaal door de metaal-gas-verbinding naar de buitenkant diffundeert. Oxydeert men bijv. een koperdraad bij geschikte druk en temperatuur door en door, dan blijkt hij van binnen hol te zijn geworden. Een andere, zeer overtuigende proef is de door Wagner beschreven aantasting van zilver door zwavel, die in *fig. 2* en het bijbehoorende onderschrift nader is toegelicht. Een verklaring voor het feit, dat steeds het metaal diffundeert (dus in een rooster van type *I* de deeltjes *B*, in type *II* de deeltjes *A*), wordt geleverd door

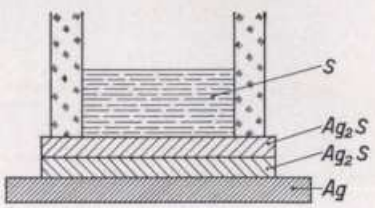


Fig. 2. Een zilveren plaatje en twee geperste plaatjes van zilversulfide (Ag_2S) worden op elkaar gedrukt, terwijl men bij 220 °C op het bovenste plaatje Ag_2S vloeibare zwavel laat inwerken. Men ziet dan op het bovenste plaatje Ag_2S een zilversulfideprop groeien, waardoor dit plaatje zwaarder wordt, terwijl het zilveren plaatje dienovereenkomstig in gewicht blijkt af te nemen. Het onderste plaatje Ag_2S verandert niet van gewicht. Er diffundeert dus zilver door het zilversulfide naar de zwavel toe. (C. Wagner, Z. phys. Chem. B **21**, 25, 1933.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

de onderstelling, dat de diffundeerende deeltjes ionen zijn, terwijl dan bij de diffusie de electrische neutraliteit gehandhaafd blijft door diffusie van een overeenkomstig aantal electronen. De positieve metaalionen zijn door hun kleinheid veel beweeglijker dan de negatieve ionen. Door beschouwing der bijdragen, welke de beweging van ionen resp. van electronen door het rooster levert tot het totale electrische geleidingsvermogen van de metaal-gas-verbinding, kon deze theoretische voorstelling ook kwantitatief bevestigd worden [4]).

Behalve de genoemde voorwaarden voor een groote corrosiebestendigheid — existentiegebied der metaal-gas-verbinding klein en gelegen bij een overmaat metaal —, die voortvloeien uit de eisch eener geringe diffusiesnelheid en die zich derhalve volgens het zoojuist vermelde ook in een slechts zeer klein ionen- of electronen-geleidingsvermogen van de verbinding moeten openbaren, zijn er nog enkele andere, min of meer vanzelfsprekende eischen De verbinding mag slechts een kleine dampspanning en moet een groote hardheid bezitten, opdat de beschermende laag niet door verdamping verdwijnen kan, resp. niet door mechanische beschadiging gemakkelijk doorbroken kan worden. Inderdaad vindt men, dat de oxydes der in corrosiebestendige legeeringen meestal toegepaste metalen, zooals chroom en aluminium, juist door deze eigenschappen gekenmerkt zijn.

Het oplossen van gassen in metalen. Zirconium als gasbinder

Hebben de hierboven gegeven beschouwingen over het binden van gassen duidelijk kunnen maken, waarom barium als gasbinder geschikt is, hetzelfde kan niet beweerd worden voor het tweede in de inleiding genoemde metaal, het zirconium. Zirconiumoxyde heeft een grooter volume dan het metaal — de voorwaarde voor het ontstaan van een beschermende oxydehuid — en voldoet ook overigens vrijwel aan alle eischen, die hierboven juist aan het oxyde van een corrosiebestendig metaal werden gesteld. Inderdaad behoort zirconium bij temperaturen beneden 200 °C tot de best corrosiebestendige metalen. Bij hooge temperatuur echter treedt een nieuw verschijnsel op, met de mogelijkheid waarvan in onze beschouwingen nog geen rekening werd gehouden: het oxyde lost in het zirconium op.

Dit effect mocht in het voorgaande worden verwaarloosd, daar de oplosbaarheid van bijv. zuurstof of stikstof in de meeste metalen zeer klein is. Tot voor betrekkelijk korte tijd waren de grootste oplosbaarheden, die men kende, die van zuurstof in zilver en van stikstof in ijzer; in beide gevallen is het oplossend vermogen bij kamertemperatuur kleiner dan 0,01 atoomprocent. In de laatste jaren kon echter worden aangetoond [5]), dat er enkele metalen zijn, die vele atoomprocenten zuurstof en stikstof in vaste oplossing kunnen opnemen, en speciaal is dit bij zirconium het geval. Hierbij zijn de verschijnselen ook het uitvoerigst bestudeerd. Vooral zuurstof is in zirconium in hooge mate oplosbaar. Zelfs een preparaat van de samenstelling 60 at.% Zr + 40 at.% O bleek bij een röntgenografisch onderzoek nog slechts één fase (met een hexagonaal rooster) te vormen. Voor stikstof ligt de oplosbaarheidsgrens bij ongeveer 20 at.% N.

Het opnemen van zuurstof- resp. stikstofatomen in het zirconiumrooster (hetgeen overigens blijkens een nader onderzoek op tusschenroosterplaatsen geschiedt) kan zoowel rechtstreeks uit de gasfase plaatsvinden alsook uit een laag zirconiumoxyde resp. -nitride, die zich op het oppervlak van het metaal heeft gevormd. Opdat dan de laag snel in haar geheel verdwijnt, is echter de groote oplosbaarheid nog niet voldoende; de opgenomen atomen moeten hiervoor ook gemakkelijk van de buitenkant naar het inwendige van het zirconiumrooster kunnen diffundeeren om plaats te maken voor nieuwe. Deze diffusiesnelheid blijkt nu bij lage temperaturen uiterst klein te zijn [6]); vandaar dat de oxyde- of nitridelaag op het zirconium dan intact blijft en het metaal voor verdere „corrosie" beschermt. Bij hooge temperaturen daarentegen, bijv. boven 1000 °C, diffundeeren de zuurstof- en stikstofatomen (resp. ionen) zeer gemakkelijk door het zirconiumrooster, zoodat homogene oplossingen worden verkregen en het metaaloppervlak zich voortdurend herstelt, zoolang de oplosbaarheidsgrens niet bereikt is.

Opdat de zuurstof- en stikstofatomen, ondanks hun groote beweeglijkheid in het metaalrooster, dit niet verlaten, moet het energieniveau van het gas in het metaal aanzienlijk lager liggen dan er buiten, dwz. het gas moet door sterke chemische krachten in het metaal worden gebonden. Dit is in zirconium inderdaad het geval. Onderzoekt men de met zirconium verwante overige metalen uit de vierde hoofdgroep van het periodiek systeem der elementen, dan vindt men, dat de chemische activiteit in de volgorde titanium, zirconium, hafnium, thorium toeneemt. Men zou evenals bij de aardalkalimetalen de beste gasbindereigenschappen bij het laatste metaal dezer reeks verwachten. Gebleken is echter, dat het uitzonderlijk groote op-

[4]) C. Wagner, Z. phys. Chem. B **21**, 25, 1933; **32**, 447, 1936; **40**, 455, 1938.

[5]) J. H. de Boer en J. D. Fast, Rec. Trav. chim. Pays Bas **55**, 459, 1936; J. D. Fast, Metallwirtschaft **17**, 641, 1938.

[6]) In werkelijkheid gaat het niet alleen om de diffusie, maar ook om het passeeren van de gasatomen door het grensvlak van het metaal, waarvoor evenals voor de diffusie een zekere activeeringsenergie noodig is. Beide energieën zijn van dezelfde orde van grootte, zoodat ook beide processen bij ongeveer dezelfde temperatuur een merkbare snelheid krijgen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

lossend vermogen alleen bij de eerste drie metalen optreedt. Aangezien hafnium zeer kostbaar is en in eigenschappen ook maar weinig van zirconium verschilt, is dus uit deze groep zirconium het aangewezen materiaal om als gasbinder te worden gebruikt.

Behalve zuurstof en stikstof worden ook andere gassen, vooral waterstof, door zirconium in groote hoeveelheden in vaste oplossing opgenomen. Terwijl voor het opnemen van alle andere gassen een zoo hoog mogelijke temperatuur van het zirconium het gunstigst is, is dit bij waterstof niet het geval. Hiervoor bestaat er een bepaald, meest gunstig temperatuurgebied, gelegen tusschen 300 en 400 °C. Om dit te begrijpen, moeten we het proces van het oplossen nog even van een andere kant bezien.

Bij een bepaalde, constante temperatuur T_1 neemt de hoeveelheid gas c, die een metaal in vaste oplossing kan bevatten, aanvankelijk met de druk p van het gas in de omringende atmosfeer toe en wel gewoonlijk [7]) evenredig met $\sqrt{p}$ (zie *fig. 3*). Bij een bepaalde druk p_m wordt de oplosbaarheidsgrens c_m bereikt, dwz. het gas lost niet meer op, maar naast de metallische fase begint zich een nieuwe fase (een metaal-gas-verbinding) te vormen, waarbij de druk verder constant blijft, totdat al het metaal is omgezet in de metaal-gas-verbinding. Bij een hoogere temperatuur T_2 zijn de evenwichtsdrukken in de hier in aanmerking komende gevallen voor alle waarden van c hooger. Men kan dus bij een gegeven oplossing zoowel door verlagen van de gasdruk bij constante temperatuur, als door verhoogen van de temperatuur bij constante druk, de opgeloste hoeveelheid gas doen afnemen.

Als voorbeeld beschouwen we de oplossing van zuurstof in zilver. Bij een temperatuur van 200 °C vindt men hier een oplosbaarheidsgrens van 0,016 at.%, bij een druk $p_m = 1{,}74$ atm. Voor 500 °C zijn de overeenkomstige waarden 0,17 at.% en $p_m = 386$ atm. Daar deze drukken gemakkelijk experimenteel verwezenlijkt kunnen worden, heeft men het dus in de hand, het zuurstofgehalte van zilver binnen de oplosbaarheidsgrens naar willekeur te doen toe- of afnemen. Bij de oplossing van zuurstof en stikstof in zirconium daarentegen blijken de waarden p_m, en a fortiori de evenwichtsdrukken bij gasgehaltes beneden de oplosbaarheidsgrens, zoo klein te zijn ($<10^{-6}$ mm Hg) dat zij zelfs met de beste hoogvacuumpompen niet bereikt kunnen worden, en dit geldt zelfs bij temperaturen van bijv. 1500 °C. Eenerzijds volgt hieruit, dat bij toepassing van een voldoende hoeveelheid zirconium als gasbinder in zuurstof of stikstof deze gassen tot op onmeetbaar kleine hoeveelheden na worden opgenomen, anderzijds, dat daarna met onze bestaande experimenteele hulpmiddelen de eenmaal opgenomen gassen niet meer uit het zirconium verdreven kunnen worden!

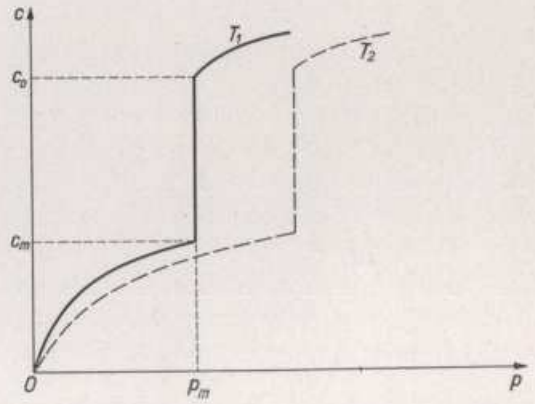


Fig. 3. De in een metaal bij constante temperatuur T_1 opgeloste hoeveelheid gas c neemt aanvankelijk met de druk p toe. Bij de oplosbaarheidsgrens c_m is de evenwichtsdruk der oplossing p_m. Nu gaat zich, terwijl de druk constant blijft, een metaal-gas-verbinding vormen. Is al het metaal omgezet in deze nieuwe fase (opgenomen hoeveelheid gas c_0), dan kan in het algemeen bij verdere toename van de druk het gasgehalte in de verbinding nog verder stijgen (existentiegebied der verbinding).

Het zal nu duidelijk zijn, dat wij bij de werking van zirconium als gasbinder ten opzichte van zuurstof en stikstof niet over evenwichtsdrukken der vaste oplossing behoefden te spreken. Bij waterstof echter zijn de evenwichtsdrukken der oplossing in zirconium alleen bij lage temperaturen te verwaarloozen; bij temperaturen boven ongeveer 400 °C kunnen zij reeds hooger liggen dan de drukken, welke in hoogvacuumbuizen nog toelaatbaar worden geacht. De bij lagere temperatuur uit de geëvacueerde buis opgenomen waterstof zou dan gedeeltelijk weer worden afgegeven. Aan de andere kant wordt met toenemende temperatuur, evenals in het geval van zuurstof en stikstof, de snelheid, waarmee de waterstof door het zirconium wordt opgenomen, steeds grooter. Het gunstigste compromis blijkt in het genoemde temperatuurgebied van 300-400 °C te liggen.

De wijze van toepassing van barium en zirconium als gasbinder

Dank zij de eigenschap, dat bij kamertemperatuur het zirconium door de gevormde oxyde- en nitridelaag geen gasbindende werking uitoefent (in tegendeel juist zeer corrosiebestendig is), behoeven bij het aanbrengen van het zirconium in de hoogvacuumbuis geen speciale voorzorgen genomen te worden.

[7]) Indien nl. de moleculen in de gasfase uit twee atomen bestaan en het gas in atomaire vorm in de metaalfase oplost.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Barium echter, dat ook bij lage temperatuur als gasbinder werkt en derhalve aan de lucht zeer onbestendig is, moet voor het aanbrengen in de buis beschermd worden door het bijv. in een mantel van koper of nikkel in te sluiten. Nadat de buis tot een bepaalde druk is leeggepompt, wordt het barium door verhitten uit zijn mantel in dampvorm vrijgemaakt en slaat als spiegel op de glazen buiswand neer. Bij het verdampen neemt het barium al dadelijk gretig het nog aanwezige gas in de buis op, zoodat de buis veel sneller en tot een lagere einddruk geëvacueerd wordt dan met de pomp mogelijk is. Deze werking wordt ook reeds verkregen met magnesium (het minst actieve der aardalkalimetalen), dat dan ook vroeger op groote schaal hiervoor werd toegepast; daar magnesium echter in vaste toestand practisch geen gassen meer opneemt, beantwoordt het niet ten volle aan hetgeen we in de inleiding als taak der gasbinders hebben omschreven.

In sommige gevallen brengt de wijze van aanbrengen van het barium het bezwaar mede, dat het metaal ook op plaatsen kan condenseeren, waar zijn aanwezigheid ongewenscht is. Bovendien heeft de aanwezigheid van de metaalspiegel een ongunstige invloed op de warmte-uitstraling door de glaswanden heen, hetgeen vooral bij sommige typen zendbuizen bezwaarlijk is. Bij het gebruik van zirconium worden deze bezwaren vermeden. Dit metaal kan als een dun laagje op een der electroden of steundraden dan wel als een afzonderlijk staafje of plaatje in de buis worden aangebracht, waarbij men er echter voor zorgen moet, dat een gedeelte van het zirconium tijdens het bedrijf op een betrekkelijk lage temperatuur blijft (bijv. 400 °C) om hier de waterstof te binden, terwijl een ander gedeelte veel hoogere temperaturen moet aannemen, om de zuurstof, stikstof, enz. snel op te nemen. Tevens moet de plaats, waar de gasbinder wordt aangebracht, zoo worden gekozen, dat deze gemakkelijk door de te binden, elders vrijgekomen gasatomen bereikt kan worden. Dit laatste kan nog in hooge mate bevorderd worden door de gasbinder op een zoodanige electrische potentiaal te brengen, dat eventueel gevormde gasionen er naar toe worden getrokken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

EEN NIEUW SPIEGELARMATUUR VOOR STRAATVERLICHTING

door J. BERGMANS en W. L. VERVEST. 683.854 : 628.971.6

De voordeelen van spiegelarmaturen voor straatverlichting komen slechts dan ten volle tot hun recht, indien men er naar streeft, dat voor alle wegdektoestanden (droog, vochtig, nat) de helderheidsverdeeling over het straatoppervlak zoo gelijkmatig mogelijk is. Aangetoond wordt, dat gelijkmatige verlichtingssterkte hiervoor niet noodig en zelfs ongewenscht is. Nagegaan wordt, hoe door geschikte keuze van de lichtverdeeling een compromis kan worden gevonden tusschen de eisch van een gelijkmatige helderheid op een droog en op een vochtig wegdek. Tevens wordt aangetoond, dat de hiertoe vereischte lichtsterkte-verdeeling van het straatverlichtingsarmatuur ook met het oog op verblinding gunstiger is dan die lichtsterkte-verdeeling, welke beantwoordt aan een gelijkmatige verlichtingssterkte. Beschreven wordt het op deze grondslagen ontwikkelde spiegelarmatuur ZE 30, dat niet alleen geschikt is voor montage aan lichtmasten, maar ook voor ophanging aan overspanningen. Tenslotte worden foto's en zichtbaarheidsmetingen van een uitgevoerde installatie gegeven.

Inleiding

Bij het verlichten van straten en wegen tracht men met een betrekkelijk klein aantal lichtpunten een lange, smalle strook een voldoende helderheid te geven voor het oog van den weggebruiker. Om daarbij verspilling van lichtstroom over de naast de weg liggende terreinstrooken of op de gevels der huizen te voorkomen, is het logisch de lichtverdeeling van de lichtbron zoodanig te kiezen, dat de lichtstroom in hoofdzaak naar het straatoppervlak gericht wordt. Dit is des te belangrijker, naarmate de lichtbronnen hooger worden aangebracht, waartoe bij de moderne straatverlichting een tendentie bestaat. Spiegelarmaturen en andere toestellen voor gericht licht, waarbij men de lichtverdeeling verregaand kan beïnvloeden, zullen dus voor dit doel beter geschikt kunnen zijn dan armaturen met diffuus doorlatende of reflecteerende oppervlakken, waarbij men de lichtverdeeling minder in zijn macht heeft, zoodat men bijv., wanneer de lichtbronnen hoog zijn aangebracht, niet kan vermijden, dat de gevels van de huizen hinderlijk sterk worden verlicht.

Men mag dus redelijkerwijs verwachten, dat voor straatverlichting de beste oplossing is een armatuur met gerichte reflectie. Desalniettemin hebben zich in de practijk bij het gebruik van spiegelarmaturen bezwaren voorgedaan en wel in hoofdzaak de volgende:

1. Op vochtige en natte bestratingen kreeg men een slechte helderheidsverdeeling.
2. De armaturen gaven meer verblinding.
3. De verlichting aan weerskanten van de straat, bijv. van de gevels der huizen, was vaak onvoldoende.

In het volgende zal nu aangetoond worden, dat dit geen bezwaren zijn, die in principe aan het spiegelarmatuur kleven, maar dat zij eerder het gevolg zijn van een verkeerde gedachtegang bij de constructie van de spiegelarmaturen, nl. deze, dat men bij het richten van de lichtstroom naar het wegdek heeft gestreefd naar een zoo gelijkmatig mogelijke verlichtingssterkte over het geheele straatvlak.

Helderheidsverdeeling op het straatoppervlak

Het is reeds lang bekend en door recente onderzoekingen bevestigd [1]), dat het voor het goed waarnemen op straat bevorderlijk is, de helderheidsverdeeling zoo gelijkmatig mogelijk te maken. Dit wordt echter geenszins bereikt door een gelijkmatige verdeeling van de verlichtingssterkte. Vooral bij groote afstand tusschen de lichtpunten leidt de eisch van gelijkmatige verlichtingssterkte er toe, dat een groot gedeelte van het licht wordt gezonden in richtingen, die nagenoeg evenwijdig zijn aan het straatoppervlak. De reflectie van deze zeer schuin invallende stralen veroorzaakt reeds bij een droog wegdek heldere vlekken, welke bij een vochtig of nat wegdek nog veel intensiever en storender worden.

Om ongeveer een idee te geven van de helderheidsverschillen, die op dicht naast elkaar gelegen punten van het wegoppervlak optreden, indien ten volle is voldaan aan de eisch van een gelijkmatige verlichtingssterkte, zij vermeld [2]), dat deze helderheden op een droog wegdek in een verhouding kunnen staan als 50 : 1 en op een vochtig wegdek als 1000 : 1.

Wij zullen zien, dat deze verhoudingen veel

---

[1]) Zie P. J. Bouma, Metingen aan uitgevoerde wegverlichtingsinstallaties, Philips techn. T. 4, 304, 1939; Peri, Rilievi sperimentali sulla illuminazione di strade. Mededeeling aan de 43e jaarlijksche vergadering van de A.E.I. te Turijn, Sept. 1939.

[2]) Dit is uitvoeriger behandeld op blz. 98 in J. Bergmans: „Lichtreflectie door wegdekken", diss. Delft 1938.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

kleiner worden, indien wij van de eisch van gelijkmatige verlichtingssterkte afzien, en dat wij juist daardoor een gelijkmatige helderheidsverdeeling op het wegoppervlak kunnen benaderen.

Verblinding bij spiegelarmaturen

Bij het waarnemen van de betrekkelijk lage helderheden op de weg speelt de contrastgevoeligheid van ons oog de belangrijkste rol. De verblindende werking van een lichtbron kan men derhalve het beste beoordeelen door de achteruitgang van de contrastgevoeligheid te bepalen, welke tengevolge van de verblinding optreedt. Zooals reeds eerder in dit tijdschrift is besproken [3]), hangt deze verblindende werking in de eerste plaats af van de verlichtingssterkte op het oog door de verblindende lichtbron en van de hoek tusschen de invalsrichting van het storende licht en de waarnemingsrichting.

Wanneer men in de practijk heeft waargenomen, dat een spiegelarmatuur sterker verblindt dan een diffuseerend armatuur, dan moet de oorzaak hiervoor dus worden gezocht in de grootere verlichtingssterkte, die het oog bij het spiegelarmatuur ontving uit richtingen, welke slechts een kleine hoek maakten met de richting, waarin de objecten werden waargenomen.

Ook dit bezwaar is dus een gevolg van het streven naar een gelijkmatige verlichtingssterkte. Immers hierdoor wordt men, zooals reeds werd vermeld, geleid tot uitvoeringen, waarbij een groot gedeelte van het licht uitgestraald wordt in richtingen, die slechts een kleine hoek maken met het straatoppervlak. Streeft men daarentegen naar de feitelijk gewenschte gelijkmatige helderheid, dan komt men tot lichtverdeelingen, welke ten opzichte van het verblindingsgevaar veel gunstiger zijn. Om dit aan te toonen, moeten we echter eerst de reflectie-eigenschappen van normale wegdekken nader beschouwen.

Helderheidscoëfficienten van het gemiddelde wegdek

Zooals reeds eerder in dit tijdschrift [4]) werd uiteengezet, kan men de reflectie-eigenschappen van een straatoppervlak weergeven met behulp van de zg. helderheidscoëfficient q. Hieronder verstaat men voor een bepaald punt het quotient van de waargenomen helderheid en de verlichtingssterkte, hetwelk een functie is van de verlichtings- en kijkrichting.

Nu wordt de q-waarde voor een bepaald punt niet alleen door deze richtingscombinatie bepaald. Ze is ook afhankelijk van de soort van het wegdek en ze verandert bovendien zeer sterk met de vochtigheidstoestand van de straat. Het lijkt derhalve op het eerste gezicht zeer twijfelachtig, of het mogelijk is om door metingen van de helderheidscoëfficient onder diverse omstandigheden te komen tot een soort gemiddelde reflectie-karakteristiek van een wegoppervlak, welke de basis zou kunnen vormen voor het berekenen van een verlichtingsarmatuur van algemeene bruikbaarheid, dus niet gebaseerd op een speciaal wegdek en een bepaalde vochtigheidstoestand van dat wegdek.

In de practijk blijkt dit echter inderdaad mogelijk te zijn. Meet men voor één bepaalde combinatie van verlichtings- en waarnemingsrichting de individueele q-waarden voor verschillende bestratingen, dan vindt men, dat deze bij droge toestand een factor 4 uiteenloopen en bij vochtige [5]) toestand een factor 9. Bepalen we nu voor een bepaalde richtingscombinatie het meetkundig gemiddelde van deze q-waarden, dan zullen dus de individueele q-waarden bij droge toestand hoogstens een factor 2 en bij vochtige toestand hoogstens een factor 3 van het telkens daarbij behoorende gemiddelde afwijken. Door dit proces van middelen verkrijgt men dus twee stellen q-waarden, die representatief zijn voor het gemiddelde droge wegdek en het gemiddelde vochtige wegdek.

De verhoudingsgetallen 2 en 3 tusschen de helderheidscoëfficienten van diverse straatoppervlakken bij gelijke richtingscombinaties zijn nu klein ten opzichte van de verhoudingen tusschen de helderheidscoëfficienten, die bij eenzelfde wegdek kunnen optreden voor verschillende combinaties van verlichtings- en waarnemingsrichting en die van de orde van grootte van 1000 zijn. Wij kunnen dus zeggen, dat de helderheidscoëfficient in hoofdzaak verandert met de verlichtings- en kijkrichting en slechts in mindere mate met de soort van het wegdek, zoodat het invoeren van het boven besproken gemiddelde wegdek wel degelijk zin heeft.

Fig. 1a en *b* geven ons een beeld van de reflectie-eigenschappen van het zoojuist ingevoerde gemiddelde wegdek. Wij stellen ons voor, dat de straat wordt verlicht uit een punt, 10 m loodrecht boven L gelegen, en dat de waarnemer (ooghoogte 1,5 m) zich bevindt in A op 150 m afstand van L. Voor elk punt van het straatoppervlak ligt dan de combinatie van verlichtings- en waarne-

[3]) Zie P. J. Bouma, Het verblindingsprobleem bij de wegverlichting, Philips techn. T. **1**, 225, 1936.

[4]) J. Bergmans, Helderheid van wegdekken bij kunstverlichting, Philips techn. T. **3**, 321, 1938.

[5]) Een nadere omschrijving van de vochtige maar nog niet geïnundeerde toestand werd gegeven in de dissertatie van den schrijver (zie noot [2]) en wel op blz. 81 en 82. Zie ook het eerste in [1]) aangehaalde artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

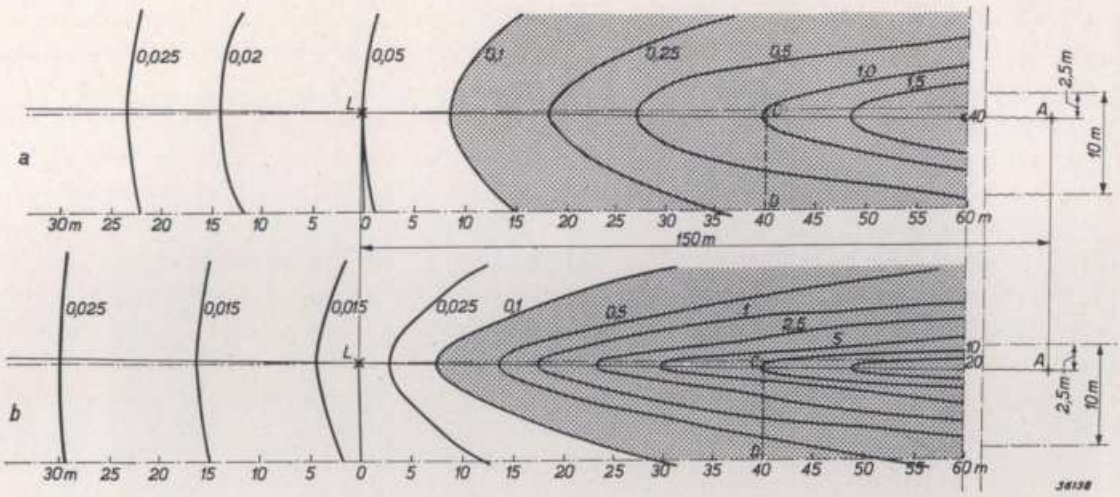


Fig. 1. Een straat van 10 m breed wordt verlicht door een lichtbron, die op 10 m boven L aan de rand van de straat wordt opgehangen. Op 150 m afstand van L bevindt zich de waarnemer A op 2,5 m afstand van de straatkant, waarboven de lichtbron hangt. Voor een gemiddeld wegdek zijn lijnen geteekend door punten met eenzelfde helderheidscoëfficient, uitgedrukt in k/m² helderheid per lux verlichtingssterkte; *a*) geldt voor droge toestand, *b*) voor vochtige toestand van het wegoppervlak.

mingsrichting vast, zoodat wij de als meetkundig gemiddelde uit onze metingen aan verschillende wegdekken berekende bijbehoorende q-waarde kunnen noteeren. De kurven van fig. 1*a* vereenigen punten met éénzelfde waarde van q in droge toestand en fig. 1*b* geeft dergelijke „iso-q-krommen" voor de vochtige toestand van het gemiddelde wegdek. Beide wegdektoestanden verschillen in de aard hunner terugkaatsing zeer sterk van volkomen diffuus terugkaatsende oppervlakken; voornamelijk treedt in bepaalde richtingen een veel sterkere reflectie op. De globale reflectie-coëfficient van zeer heldere straatoppervlakken[6]) is maximaal ongeveer $\varrho = 30\%$. Onderstellen wij een volkomen diffuse reflectie, waarbij uit den aard der zaak q = constant, dan zou dit overeenkomen met een q-waarde van 0,1. Immers:

$$q = \frac{B}{I} = \frac{\varrho\, I/\pi}{I} = \frac{1}{\pi}\varrho = \frac{0{,}3}{3{,}14} \approx 0{,}1.$$

Het deel van de weg, waar de helderheidscoëfficienten van het gemiddelde wegdek in werkelijkheid hooger zijn dan 0,1, is in de figuren 1*a* en *b* gerasterd aangegeven. Men ziet, dat dit op een zeer groot gedeelte van het straatoppervlak het geval is. Bij de gemiddelde droge weg (fig. 1*a*) komen plaatselijk gebieden voor met een 15 maal zoo hooge waarde van q, terwijl de vochtige weg (fig. 1*b*) op enkele plaatsen zelfs meer dan 200 maal zoo groote q-waarden vertoont. Er zijn echter ook plaatsen (op het niet gerasterde gedeelte van fig. 1*a* en *b*), waar de waarde van q, zoowel in vochtige als in droge toestand, ongeveer vijf maal zoo klein is als bij het diffuse vergelijkings-oppervlak.

Uit deze vergelijking zien wij dus, hoe uitermate belangrijk het is om bij de constructie van armaturen rekening te houden met de werkelijke reflectie-eigenschappen van de wegdekken.

Gekozen verdeeling van de lichtstroom over het straatoppervlak

Zooals hierboven reeds is aangegeven, moeten wij ons voor het verkrijgen van de beste resultaten voor de zichtbaarheid ten doel stellen, aan het armatuur een zoodanige lichtverdeeling te geven, dat de helderheid van het wegdek zoo gelijkmatig mogelijk wordt. De q-waarden wijzen ons hiertoe den weg. Immers per definitie is q het quotient van helderheid en verlichtingssterkte, *zoodat dus voor het bereiken van gelijke helderheid de verlichtingssterkte op elk punt van het wegdek omgekeerd evenredig moet zijn aan de waarde van q.*

Daar een armatuur voor straatverlichting goed te gebruiken moet zijn zoowel bij een droge als een vochtige toestand van het wegdek, is het noodig een compromis te zoeken tusschen de lichtverdeelingen, die voor de beide wegdektoestanden uit fig. 1*a* en *b* zouden volgen. Om aan te toonen, hoe men hierbij te werk moet gaan, willen wij een bepaald voorbeeld nader beschouwen. Wij onderstellen, dat de lichtbron loodrecht boven de rand van de 10 m breede straat is opgehangen (zie fig. 1*a* en *b*) en wij beschouwen de dwarsdoorsnede

[6]) De hoogste diffuse reflectiecoëfficient, welke bij een uitvoerig onderzoek van ca 40 verschillende wegdekken werd gemeten, bedroeg 29%. Zie hierover en over de definitie van de „globale" reflectiecoëfficient het in noot [1]) aangehaalde artikel, blz. 308/309.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

CD, die 40 m, d.i. viermaal de ophanghoogte der lichtpunten, van *L* is verwijderd. Het verloop van de helderheidscoëfficient over deze doorsnede, dat uit fig. 1*a* en *b* kan worden afgelezen, is in *fig. 2* afzonderlijk aangegeven (q_d resp.q_v). Zooals men ziet, heeft de helderheidscoëfficient in het punt *D*, dus aan de overkant van de straat, voor droge en vochtige toestand vrijwel dezelfde waarde nl. ca 0,3; in het punt *C*, dus aan de kant van de straat, waar zich de lichtbron bevindt, zijn de helderheidscoëfficienten voor droge en vochtige toestand sterk verschillend en wel resp. ongeveer 3 en 30 maal zoo groot als aan de overkant.

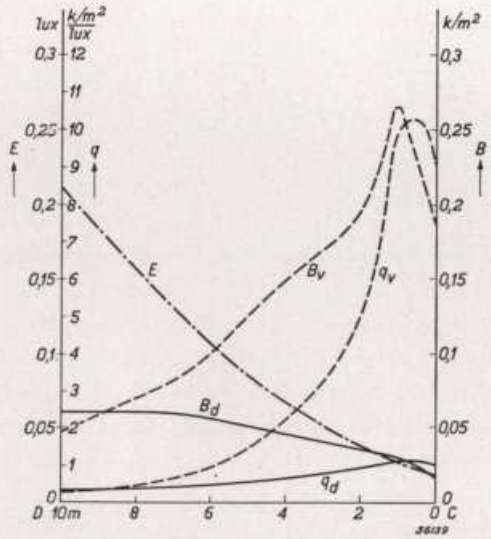


Fig. 2. Verloop van de helderheidscoëfficient *q*, de verlichtingssterkte *E* en de helderheid *B* langs de lijn *CD* van fig. 1 voor een droog wegdek (getrokken lijnen) en een vochtig wegdek (gestippelde lijnen).

Indien de punten van de lijn *CD* gelijkmatig worden verlicht, hetgeen bij de meeste thans bestaande armaturen bij benadering het geval is, geven de kurven q_d resp. q_v tevens het verloop van de helderheid weer en zou de helderheid bij *C* een uitgesproken maximum vertoonen. Dit uit zich dan in het optreden van smalle zeer heldere strooken op het straatoppervlak, welke uitermate hinderlijk kunnen zijn voor de waarneming, aangezien een smal obstakel, bijv. een voetganger of fietser, die zich naast een dergelijke strook bevindt, in het geheel niet wordt opgemerkt.

Uit het voorgaande is de remedie duidelijk: men moet het licht hoofdzakelijk uitstralen naar de overkant van de straat, zoodat de verlichtingssterkte in het punt *D* een factor 10 grooter is dan in *C*. Het effect van het grootere reflectievermogen in *C* wordt dan het beste gecompenseerd. Bij een droog straatoppervlak is dan de helderheid in *D* ongeveer een factor 3 grooter, bij een vochtig straatoppervlak een factor 3 kleiner dan in *C*, en dit zijn helderheidsverschillen, welke als toelaatbaar kunnen worden beschouwd. Er doet zich hier dus het merkwaardige feit voor, dat de helderheid, die in droge toestand aan de overzijde van de straat wordt veroorzaakt, grooter is dan de helderheid aan de kant, waar de lichtbronnen zelf aangebracht zijn.

De practische verwezenlijking van deze gedachte heeft geleid tot de constructie van een nieuw spiegelarmatuur, dat wij in het volgende nader willen bespreken.

Fig. 3 geeft de verdeeling van de verlichtingssterkte over het straatoppervlak bij gebruik van dit nieuwe armatuur en laat zien, dat de verlichtingssterkte aan de overzijde van de straat inderdaad vele malen grooter is dan aan de straatkant, waar de lichtbron is opgehangen.

In *fig. 4a* is weergegeven hoe de helderheid op de straat verloopt langs drie verschillende lijnen *x*, *y* en *z*, die in fig. 4*b* zijn aangegeven. De lijn *x* is de verbindingslijn van *L* met de waarnemer *A*. De lijn *z* is de straatrand aan de overzijde en *y* is op 2,5 m daaraan evenwijdig, dwz. het midden van de aan de overkant gelegen rijbaan. De getrokken krommen in fig. 4*a* hebben betrekking op de droge toestand,

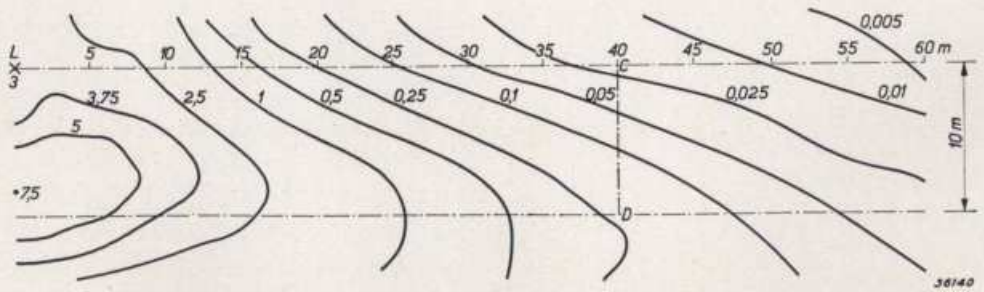


Fig. 3. Een armatuur ZE 30 voorzien van een kwiklamp HP 500 bevindt zich op 10 m boven het punt *L* aan de rand van een 10 m breede weg. Bij een totale lichtstroom van 5000 lm van de lamp worden de in lux aangegeven waarden der verlichtingssterkte op de bestrating verkregen. Iso-lux-krommen zijn op het straatoppervlak geteekend, waaruit men ziet, dat de overzijde van de straat veel sterker wordt verlicht dan de kant, waar het armatuur hangt, vgl. bijv. de punten *C* en *D* op 40 m van de lichtbron.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

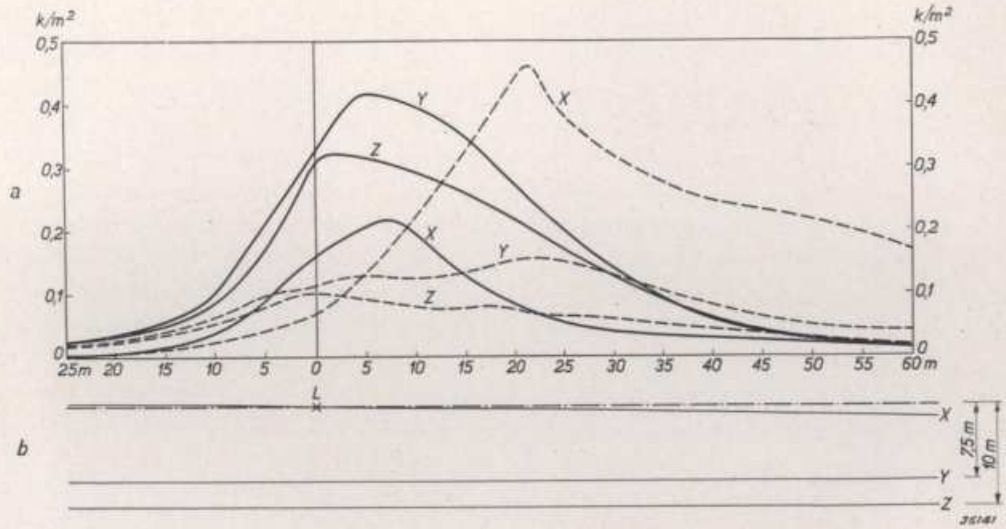


Fig. 4. Verloop van de helderheid (a) op de straat langs drie verschillende lijnen x, y en z, die in (b) zijn aangegeven. De lijn x is de verbindingslijn van L met de waarnemer A. De lijn z is de straatrand aan de overzijde en y is op 2,5 m daaraan evenwijdig; y is dus de middellijn van de overliggende rijbaan. De getrokken krommen hebben betrekking op de droge toestand, de gestippelde krommen geven het verloop van de helderheid weer voor de vochtige toestand van het wegdek.

terwijl de gestippelde krommen het verloop van de helderheid weergeven voor de vochtige toestand van het wegdek.

Uit deze krommen ziet men, dat het merkwaardige effect, dat hierboven voor de dwarsdoorsnede *CD* werd omschreven, niet slechts voor deze eene plaats geldt, maar dat voor een heele strook van het wegdek de helderheid in droge toestand aan de overkant van de weg hooger is dan aan de kant, waar de lichtbronnen opgehangen zijn. Hierdoor wordt dus de heldere strook op het wegdek zoo breed als practisch mogelijk is.

Verdeeling der lichtsterkte van het nieuwe spiegelarmatuur.

De lichtverdeeling, die wij aan ons nieuw spiegelarmatuur ZE 30 hebben gegeven, is in *fig.* 5 te zien. Gewoonlijk geeft men de lichtsterkte-verdeeling van een armatuur weer door het polaire lichtsterktediagram te teekenen voor eenige verticale vlakken, gaande door de lichtbron. Wanneer de lichtsterkte-verdeeling in deze vlakken onderling slechts weinig verschilt, is tegen deze wijze van werken niet veel bezwaar. Bij een armatuur met een zeer geprononceerde lichtverdeeling, zooals het hier beschrevene, krijgt men hiermede echter groote moeilijkheden, omdat de punten van het wegoppervlak, waarvoor men dan de verlichtingssterkte kan uitrekenen, zeer ongelijkmatig over de weg verdeeld zijn. Wij kiezen daarom een andere wijze van voorstellen door naast het polaire lichtsterktediagram van het verticale vlak loodrecht op de

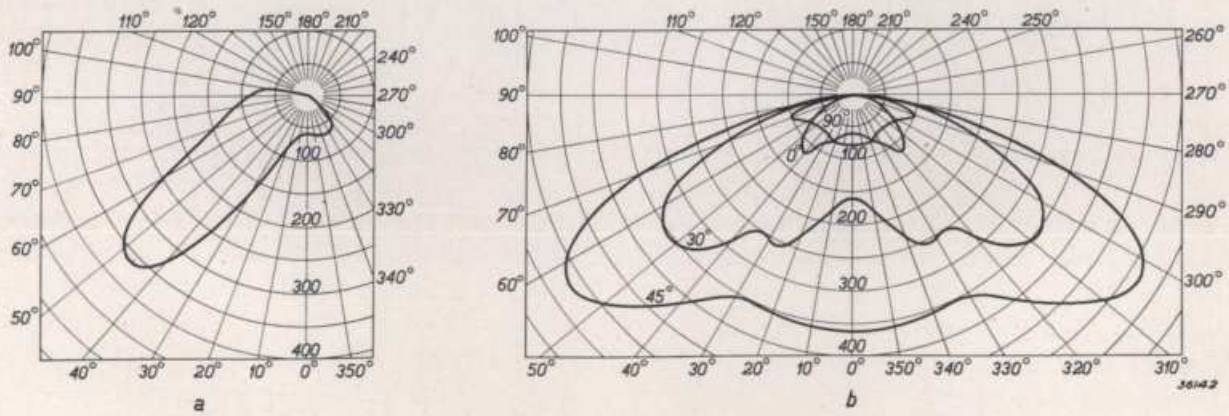


Fig. 5. Verdeeling van de lichtsterkte bij het spiegelarmatuur ZE 30 voorzien van een kwiklamp HP 500.

a) Verdeeling in het verticale vlak loodrecht op de richting van de straat.
b) Lichtsterkte-verdeelingen in vier vlakken, die in fig. 6 zijn aangegeven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

verkeersrichting (zie fig. 5*a*) soortgelijke diagrammen te meten en te teekenen voor vlakken, welke uit het verticale vlak evenwijdig aan de richting van de straat zijn afgeleid, door dit te draaien om een horizontale lijn, gaande door de lichtbron (zie de diagrammen in fig. 5*b* en de aanduiding der meetvlakken in *fig. 6*). Gebruikt men deze diagrammen, dan zijn de punten, waarvoor men de verlichtingssterkte op de weg kan berekenen, veel logischer over het oppervlak verdeeld, terwijl men ook uit een dergelijke weergave de, bijv. voor het vraagstuk der verblinding belangrijke, vraag kan beantwoorden, hoe de lichtsterkte voor een waarnemer verloopt, die zich beweegt over een der verkeersbanen, d.i. langs een lijn in de lengterichting van de straat.

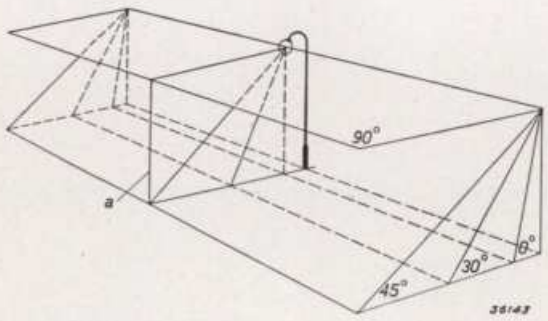


Fig. 6. Perspectivische voorstelling van de vlakken, waarvoor in fig. 5 de lichtverdeelingen zijn geteekend.

Het is opvallend, hoe weinig licht er door het spiegelarmatuur wordt uitgezonden in het verticale vlak (0°), dat in de lengterichting van de straat ligt. Vooral onder kleine hoeken met de horizontaal geeft immers in dit vlak een zeer beperkte lichtsterkte tengevolge van de hooge q-waarde de beste resultaten voor het bereiken van de juiste helderheidsverdeeling over het wegoppervlak.

Door de geringe lichtsterkte in deze richting is ook de hinder van het directe licht van de lichtbron miniem. De beide eischen van zoo gelijkmatig mogelijke helderheid ook in vochtige toestand en van geringe verblinding zijn dus niet onderling in strijd, maar gaan in tegendeel hand in hand.

Een punt van belang, waarop wij hier nog willen wijzen, is dat de lichtsterkte in elk der diagrammen van fig. 5*b* zeer geleidelijk overgaat vanaf de grootste waarde naar de zeer kleine waarde in horizontale richting. De aard van deze overgang is van groote beteekenis voor de helderheidsverdeeling in het perspectivische wegbeeld. Wanneer men in plaats van de door ons gekozen kromme een scherpe afsnijding had gemaakt onder 70 à 80°, zooals bij andere armaturen wel voorkomt, dan had zich deze afsnijding als een storende streep op het wegdek afgeteekend. Zooals men ziet uit fig. 1*a* en *b*, neemt nl. in het bijzonder in vochtige toestand de helderheidscoëfficient op de verbindingslijn tusschen L en A met toenemende afstand van L zeer sterk toe, vooral wanneer de afstand van L grooter is dan correspondeerende met een uitstralingshoek van 70°. Daardoor krijgt men, dat bij vele armaturen de helderste plek in vochtige toestand komt te liggen op een plaats van de verbindingslijn tusschen 70 en 80°. Wordt hier boven een bepaalde hoek plotseling alle lichtuitstraling afgeschermd, dan ontstaat op het wegdek een zeer storende helderheidsovergang. Bij de zeer geleidelijke afscherming, welke in de krommen van fig. 5*b* te zien is, behoeft men dit verschijnsel niet te vreezen.

Tenslotte willen wij nog wijzen op de lichtuitstraling in het horizontale vlak (90°). Het in deze richting uitgezonden licht komt niet op de straat zelf terecht, maar verlicht de huizenrijen, die aan de straat zijn gelegen, waardoor de straat geen doodsche indruk maakt en overzichtelijk is voor politiebewaking. Uit den aard der zaak kan en moet zelfs de verlichtingssterkte der gevels belangrijk kleiner zijn dan de verlichtingssterkte op de straat. Een al te zwakke verlichting kan echter een gevaar beteekenen voor de veiligheid van hen, die zich uit huis op straat begeven, daar zij door het langs rijdende verkeer niet bijtijds worden opgemerkt. Verlicht men de gevels met lichtbronnen, die aan dezelfde kant van de straat zijn opgehangen, dan krijgt men een veel te plaatselijke verlichting van een of meer huizen, terwijl de andere te donker blijven. Wil men dit voorkomen door het licht speciaal te richten naar de verder gelegen huizen, dan krijgen deze hinderlijke slagschaduwen, waardoor het gewenschte effect evenmin wordt bereikt. Door de gevels vanaf de overzijde te verlichten, kan men daarentegen goede resultaten verkrijgen.

Plaatsing van het armatuur ten opzichte van het straatoppervlak

In de figuren 1*a*, 1*b* en 3 hebben wij de straatranden aangegeven met streep-stip lijnen en wel op zoodanige wijze, dat hierbij de lichtbron boven de straatrand kwam te hangen. Dit beteekent echter geenszins, dat de armaturen niet goed te gebruiken zouden zijn voor montage aan overspanningen bij breede straten. Ook in dat geval moet men zorgen voor een zoo gelijkmatig mogelijke helderheid over zoo breed mogelijke banen van het straatoppervlak, en juist daarvoor is het nieuwe spiegelarmatuur gunstig geconstrueerd. Teneinde ook de gevels goed te verlichten, moet men de armaturen zoo ophangen, dat ze altijd van de buitenzijde van de straat naar het midden toe stralen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Opdat het armatuur de juiste stand ten opzichte van het straatoppervlak zal innemen, moet men het eventueel met behulp van een leidingskoppeling vast aan de overspanningsdraad bevestigen (*fig. 7*).

Door het tordeeren van de overspanningsdraad zal men dan nog een kleine slingering overhouden om een horizontale slingeras loodrecht op de verkeersrichting. Een dergelijke slingering, die bij „scherp afsnijdende" armaturen buitengewoon hinderlijk is, is bij het nieuwe armatuur onschadelijk tengevolge van de „geleidelijke afscherming" van het licht.

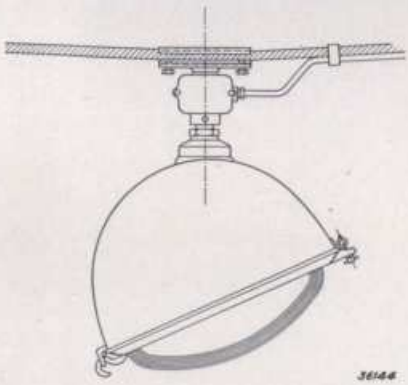


Fig. 7. Het spiegelarmatuur kan met een kleminrichting zoo stevig aan een overspanningsdraad worden bevestigd, dat het slechts kan slingeren om een horizontale as, loodrecht op de straatrichting. De slingeringen om deze as, nl. om de overspanningsdraad, die bij stormweer optreden, zijn niet hinderlijk.

Constructie van het nieuwe spiegelarmatuur

Er is bij de constructie voor gezorgd, dat de glazen deelen: spiegel en afsluitglas, ieder gemonteerd in hun frame, op gemakkelijke manier bij de montage in het armatuur kunnen worden aangebracht en tevens op eenvoudige wijze uit het armatuur kunnen worden genomen, als men ze wil schoonmaken. Op beide onderdeelen is nl. de constructie van inhaken aan één kant en met een schroef vastzetten aan de andere kant toegepast (zie *fig. 8*). Zoowel de schroef, die de spiegel vasthoudt (bij *C*), als bout *A*, waarmede de afsluitruit *B* wordt bevestigd, zijn „onverliesbaar" en zoo geconstrueerd, dat, mochten ze onverhoopt lostrillen, de verbinding toch in elkaar blijft hangen.

In *fig. 9* is met enkele lijnen het principe van de stralengang in de reflector aangegeven. Er kunnen zoowel kwiklampen als gloeilampen in worden gebruikt. Om in beide gevallen ongeveer dezelfde lichtverdeeling te verkrijgen was het noodig om de stand van de kwiklampen (HP 300 of HP 500) anders te kiezen dan de stand van de gloeilampen. In fig. 9 is de stand van de gloeilampen aangeduid met *G* en van de kwiklampen met *K*. Technisch

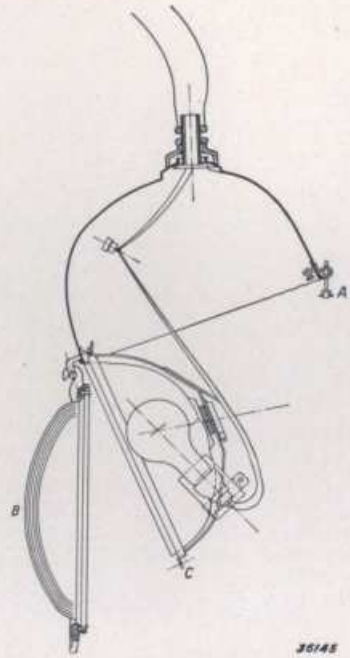


Fig. 8. Spiegelarmatuur ZE 30 in geopende toestand. Het afsluitglas en de spiegel, beide bevestigd in hun ijzeren frame, zijn aan één zijde ingehaakt. Het armatuur wordt gesloten door het frame van het afsluitglas aan de andere zijde vast te schroeven.

wordt dit zoo uitgevoerd, dat er voor het vastzetten van de bus, waarin de lamphouder bevestigd is, twee klembanden (fig. 8) in het spiegelframe zitten. Eén klemband dient voor de gloeilampen en de andere voor de kwiklampen. Op de fittingbus is tevens aangegeven, op welke hoogte iedere lamp moet worden ingesteld ter verkrijging van het gewenschte resultaat.

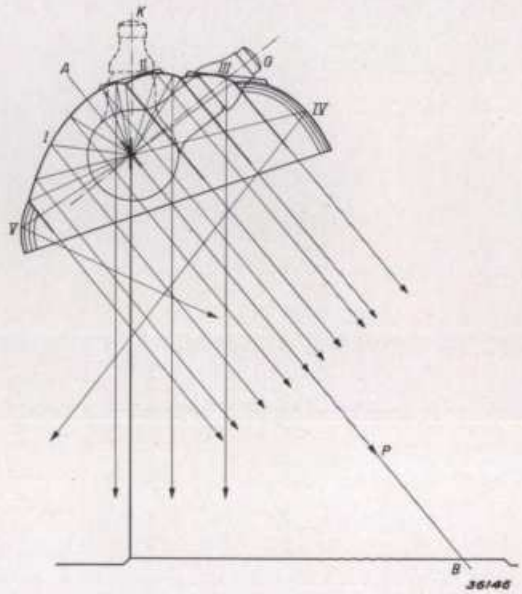
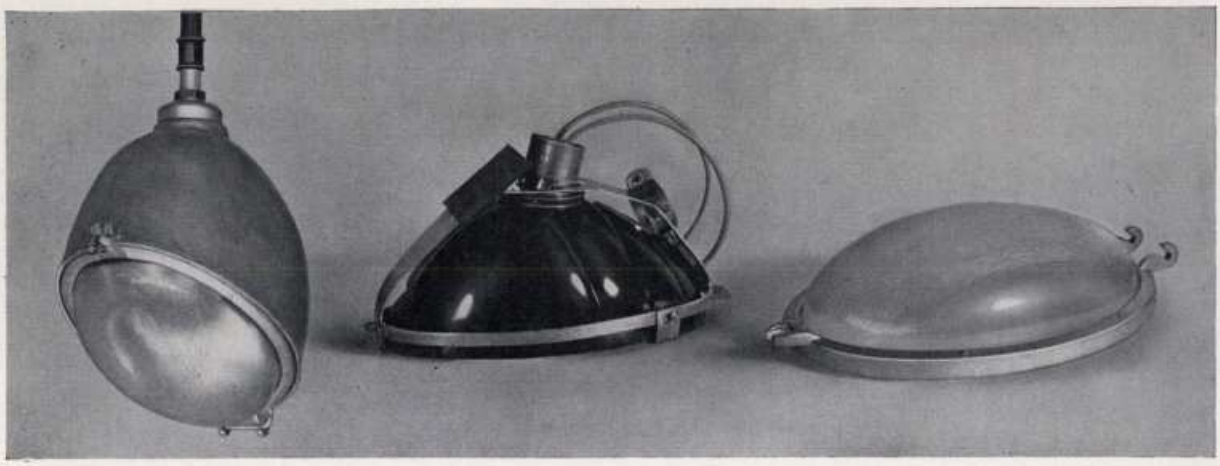


Fig. 9. De verzilverde, glazen spiegel van het armatuur ZE 30 bestaat uit de segmenten *I-V*. Het grootste gedeelte van het licht wordt teruggekaatst in de richting *APB*. De juiste stand der gloeilampen ten opzichte van de spiegel is met *G* aangegeven en die der kwiklampen (HP 300 of 500) met *K*.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023



a) b) c)

Fig. 10. *a*) Bedrijfsklaar opgehangen armatuur ZE 30 (hoogte van het geheele armatuur ongeveer 40 cm);
b) spiegelframe;
c) afsluitruit van het armatuur.

Fig. 10 toont een foto van het armatuur en van ieder van de hoofdonderdeelen: huis, spiegelframe en afsluitruit. Aan de foto van het spiegelframe ziet men, dat de spiegel vastgezet wordt door een groote spiraalveer en dat geen schroeven gebruikt worden om de spiegel vast te houden.

De verzilverde, glazen spiegel is voorzien van een speciale deklaag van in de oven ingebrand email. De zilverlaag bevindt zich dus tusschen twee glasachtige oppervlakken, nl. aan de voorzijde het glazen lichaam van de spiegel en aan de achterzijde de email-laag. Hierdoor wordt een afdoende bescherming van de zilverlaag verkregen, zoowel tegen temperatuurs- als tegen atmosferische invloeden. Dergelijke spiegels zijn ook bestand tegen de invloed van de zeelucht, zoodat men het armatuur zonder eenig bezwaar vlak aan zee kan gebruiken.

In de *figuren 11* en *12* ziet men twee deelen van een straat, die met het spiegelarmatuur ZE 30 is verlicht. Zooals men ziet, zijn de lichtbronnen slechts aan één zijde van de straat gemonteerd. Deze opstelling, die opzichzelf veel ongunstiger is dan een opstelling aan weerskanten of boven het midden van de straat, heeft voor een beoordeeling van het armatuur groote voordeelen. Op een foto kan men immers niet zien, door welke lichtbron een bepaalde plaats van het wegoppervlak helder wordt gemaakt. Wanneer de lichtbronnen echter slechts aan één kant van de weg zijn aangebracht en men op de foto nog een belangrijke helderheid aan de overzijde van de weg ziet, weet men zeker, dat dit veroorzaakt wordt door de gunstige eigenschappen van de armaturen.

De straat, die door de foto's 11 en 12 wordt afgebeeld, is tusschen de trottoirbanden 12 m breed.

Fig. 11. Straat, geïnstalleerd met ZE 30 armaturen, waarin kwiklampen HP 500 (5000 lm). Ophanghoogte der lichtbronnen 9 m, onderlinge afstand 34 m. Alle lichtbronnen zijn aan één zijde van de straat boven de trottoirband aangebracht. Breedte van de straat tusschen beide trottoirbanden 12 m. Wegdek droog. Bovenaan een reeks zwartingsmerken, die aangebracht werden voor het bepalen der helderheid van elk wegdekpunt; zie het in noot [1]) aangehaalde artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Fig. 12. Dezelfde installatie als fig. 11 met vochtig wegdek.

De lichtbronnen zijn op een hoogte van 9 m boven één van de trottoirbanden opgehangen met een onderlinge afstand van 34 m. Gebruikt werden kwiklampen HP 500, die een lichtstroom van 5000 lm geven. Geïnstalleerd vermogen 3,8 kW per km. Het wegdek bestaat uit granietkeien.

De foto's toonen duidelijk aan, dat zelfs bij deze ongunstige verhoudingen van straatbreedte (12 m) tot ophanghoogte (9 m) het volledige straatoppervlak, zoowel in natte als in droge toestand, voldoende gelijkmatig helder wordt gemaakt. Ook de gevels van de huizen aan de overzijde zijn duidelijk zichtbaar.

Voor zichtbaarheidsmetingen moet men onderscheid maken tusschen de waarden, die men waarneemt, staande op de weghelft, waar zich de lichtbronnen bevinden, of op de andere weghelft. Voor beide gevallen, die overeenkomen met de beide tegenovergestelde rijrichtingen, hebben wij de kleinste waarneembare contrasten bepaald, en wel op de gunstigste plaats (Z) en op de ongunstigste plaats (z) in het gezichtsveld. Deze metingen werden zoowel bij droog als bij vochtig weer uitgevoerd. De resultaten waren [7]):

		droog	vochtig
Waarneming lichtbronzijde	Z	31,9	39
	z	38,2	51
Waarneming overzijde	Z	30,4	34,2
	z	39,2	50

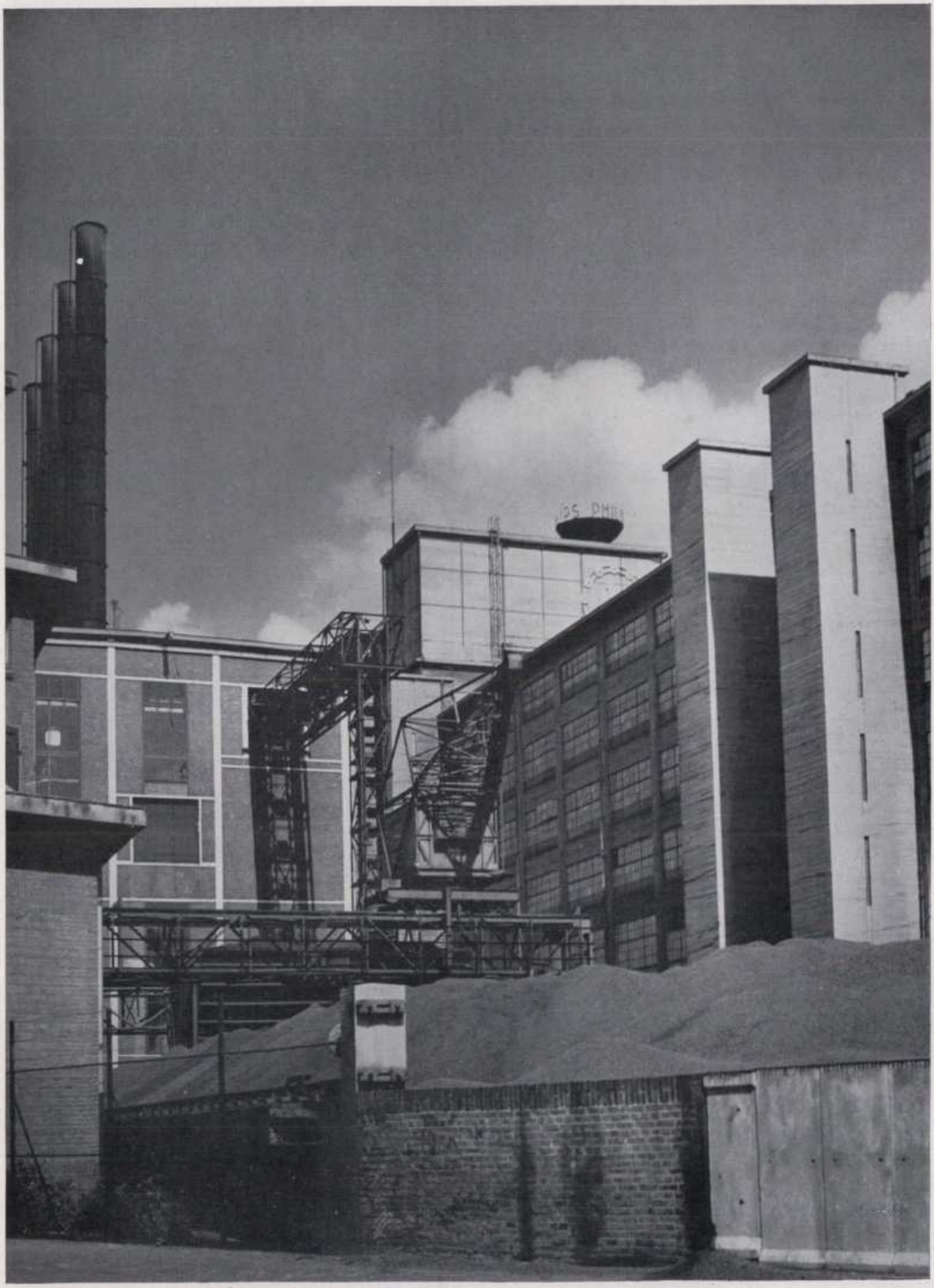
De bovenstaande waarden zijn voor een eenzijdig verlichte weg van een dergelijke breedte en een dergelijk klein geïnstalleerd vermogen als zeer gunstig te beschouwen en toonen vooral aan, dat de achteruitgang van de zichtbaarheid bij de overgang van droog naar vochtig zeer gering is.

[7]) Soortgelijke metingen aan tal van andere wegdekken zijn besproken in het in noot [1]) geciteerde artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

EEN KIJKJE OP DE TERREINEN DER PHILIPSFABRIEKEN



Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

EEN ELECTRODYNAMISCHE OPNEMER VOOR HET ONDERZOEK VAN MECHANISCHE TRILLINGEN

door J. SEVERS. 621.317.351 : 621-752

Bij de Philips trillingsopnemer GM 5520 worden de mechanische trillingen van het te onderzoeken object langs electrodynamische weg omgezet in een electrische wisselspanning, waarvan het verloop op het scherm van een kathodestraaloscillograaf kan worden zichtbaar gemaakt. De constructie van de opnemer, vooral de overwegingen omtrent de keuze der eigenfrequentie, de demping en de te verkrijgen gevoeligheid worden hier in het kort besproken. Daarna wordt de interpretatie der verkregen snelheids- en uitwijkingsoscillogrammen en de methode voor kwantitatieve trillingsmeting behandeld. Bij gebruik van de oscillograaf GM 3156 kan de te onderzoeken trilling met een 3500-voudige vergrooting worden afgebeeld, bij frequenties afdalende tot 10 per/sec. Tenslotte wordt besproken, op welke wijze de opnemer aan het trillende object kan worden aangebracht en worden enkele toepassingsvoorbeelden behandeld.

In de laatste decennia wordt in toenemende mate aandacht geschonken aan de mechanische trillingen, die in de techniek op allerlei plaatsen optreden en die om verschillende redenen ongewenscht kunnen zijn. Bij machine- en constructie-onderdeelen, bijv. van motoren, vliegtuigen, bruggen, enz., is het de destructieve werking der trillingen, in andere gevallen, bijv. op schepen, in voertuigen, in gebouwen, is het de hinderlijkheid der trillingen voor de mensch, die veelal hun bestrijding noodig maakt.

Aan het bestrijden moet het kennen voorafgaan. Hoe onderzoekt men nu mechanische trillingen? Reeds lang bestaan hiervoor allerlei instrumenten, welke de bij het trillen optredende, in het algemeen slechts zeer kleine, uitwijkingen langs mechanische of optische weg vergrooten tot waarden, welke direct afgelezen en desgewenscht ook geregistreerd kunnen worden. Een modernere methode is het, om de vergrooting niet langs mechanische of optische maar langs electrische weg te bewerkstelligen. Op deze wijze is het, dank zij de hoog ontwikkelde versterkertechniek, gemakkelijk mogelijk om trillingen met betrekkelijk hooge frequenties en kleine amplituden te onderzoeken, terwijl men tevens de mogelijkheid heeft om tot handige, transportabele toestellen te komen, die niet, zooals de meeste oudere apparaten, aan een bepaalde wijze van opstellen en een bepaalde richting der trillingen zijn gebonden.

Van deze mogelijkheden is gebruik gemaakt in de Philips trillingsopnemer GM 5520, die we in dit artikel willen beschrijven.

De wijze van aandrijving

De vergrooting wordt bij een electrische trillingsopnemer verkregen, door de varieerende uitwijking van het trillende object om te zetten in een varieerende electrische spanning, die dan naar willekeur versterkt kan worden en welker verloop, zichtbaar gemaakt op het scherm van een kathodestraaloscillograaf, een beeld vormt van het verloop der te meten uitwijking. Bij de Philips trillingsopnemer geschiedt het omzetten der mechanische trillingen in een wisselspanning volgens het electrodynamische principe: een magneet, welks krachtlijnen de windingen van een spoeltje snijden, laat men de beweging van het trillend object volgen. Klaarblijkelijk is het hierbij noodzakelijk, dat het spoeltje de beweging van het trillend object niet volgt, daar alleen bij een relatieve verplaatsing van magneet en spoeltje een spanning opgewekt wordt. Hier raken we een principieele vraag, die we eerst wat nader willen bezien.

Heel algemeen geldt, dat de uitwijking van een punt van het trillend object nooit anders kan worden gemeten dan door de relatieve verplaatsing van dit punt ten opzichte van een tweede punt, waarvan men de beweging kent. Het eenvoudigste is het, hiervoor een vast punt te kiezen, dat in het geheel niet aan de trillingsbeweging deelneemt. In vele gevallen is dit echter niet mogelijk. Men denke slechts aan de trillingen, welke bij aardbevingen optreden: een vast punt buiten de aarde staat niet ter beschikking en punten van de aardkorst, welke niet, of vrijwel niet, aan de trilling deelnemen, zijn te ver verwijderd om voor het onderzoek te baat genomen te worden. Bij trillingen van schepen, bruggen, enz. en algemeen bij trillingen van groote massa's bij lage frequenties (enkele per/sec), ondervindt men veelal dezelfde moeilijkheid.

Voor dergelijke gevallen kan men als vergelijkingspunt de plaats kiezen van een massa, welke door een veer aan het trillende object is verbonden (*fig. 1*). Is m de massa, c de stijfheid van de veer, r de coëfficient der aanwezige demping, dan geldt voor de relatieve verplaatsing x der massa ten

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

opzichte van het trillende object de differentiaalvergelijking

$$m\frac{d^2(x-y)}{dt^2}+r\frac{dx}{dt}+cx=0 \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

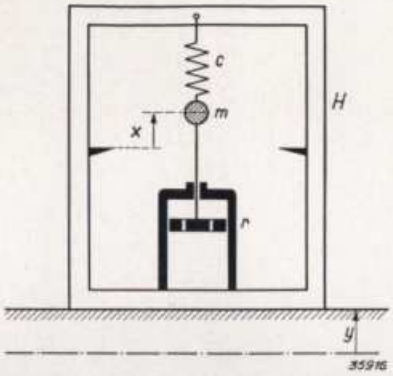


Fig. 1. Principe van een trillingsopnemer, waarbij geen gebruik wordt gemaakt van een vast punt buiten het trillend object. De relatieve uitwijking x der massa m ten opzichte van het huis H wordt gemeten en levert een maat voor de absolute uitwijking y van het huis (dwz. het trillend object).

Hierbij is y de gevraagde uitwijking van het te onderzoeken object, terwijl x rechtstreeks kan worden gemeten. Bij een sinusvormige trilling

$$y = y_0 \cos \omega t$$

wordt x in de stationnaire trillingstoestand:

$$x = x_0 \cos(\omega t - \varphi), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

waarbij

$$x_0 = y_0 \frac{(\omega/\omega_0)^2}{\sqrt{4D^2(\omega/\omega_0)^2+(1-(\omega/\omega_0)^2)^2}} \quad . \quad . \quad (3)$$

en

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2D\,\omega/\omega_0}{1-(\omega/\omega_0)^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Hierin is $\omega_0 = \sqrt{c/m} = 2\pi$ maal de resonantiefrequentie van het ongedempt trillende systeem en $D = r/2\omega_0 m$ de zg. dempingsfactor.

In *fig. 2* is de door (3) gegeven verhouding x_0/y_0 als functie van de frequentie uitgezet voor verschillende waarden van de dempingsfactor D. Men ziet, dat bij frequenties, die voldoende ver boven de resonantiefrequentie $\omega_0/2\pi$ liggen, de verhouding x_0/y_0 constant en gelijk aan 1 wordt: de massa m blijft dan tengevolge van haar traagheid practisch in rust, gedraagt zich dus, alsof zij aan een vast punt buiten het trillend object bevestigd was [1]).

Bij de technische toepassing van een trillingsopnemer heeft men veelal te maken met roteerende machines, waarvan de toerentallen in het algemeen tusschen bijv. 120 en 3000 omw/min liggen. De grondfrequenties der te verwachten trillingen kunnen dus zeer laag zijn (enkele per/sec). Het is derhalve gewenscht, dat het vlakke gedeelte der frequentiekarakteristiek fig. 2 zich zoo ver mogelijk naar de zijde der lage frequenties uitstrekt. Hiervoor moet de trillingsopnemer een zoo laag mogelijke eigenfrequentie hebben en kiest men verder voor de dempingsfactor het beste een waarde $D \approx 0{,}5$.

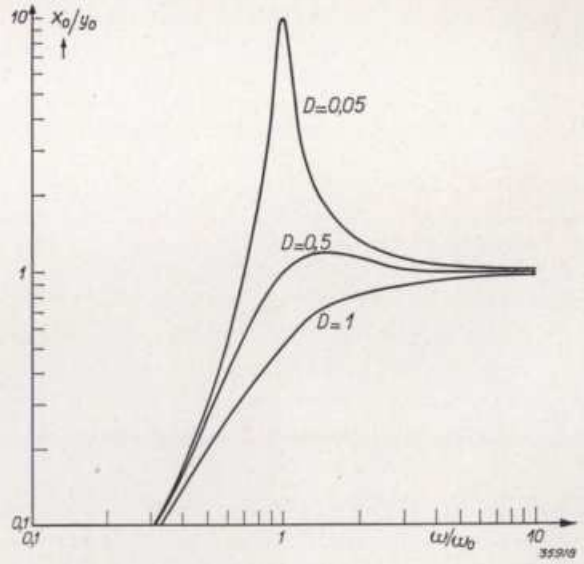


Fig. 2. Frequentiekarakteristieken van een opnemer volgens fig. 1, voor verschillende waarden van de dempingsfactor D. Bij frequenties $\omega/2\pi$, die voldoend hoog boven de resonantiefrequentie $\omega_0/2\pi$ liggen, wordt de te meten relatieve amplitude x_0 practisch gelijk aan de absolute amplitude y_0 van het object.

Constructie van de trillingsopnemer

Het in fig. 1 geschetste principe is in de Philips trillingsopnemer als volgt verwezenlijkt (zie *fig. 3*). De massa m wordt in hoofdzaak gevormd door twee vast met elkaar verbonden spoelen S_1, S_2, die door middel van twee membraanveeren opgehangen zijn in een cylindrisch huis, dat de beweging van het trillend object meemaakt. De spoelen kunnen bewegen in twee ringvormige luchtspleten van een in het huis bevestigde permanente magneet. De spoel S_1 levert de gewenschte uitgangsspanning; de spoel S_2 bestaat uit een gesloten ring, de hierin geïnduceerde stroom veroorzaakt de gewenschte dempingskracht (tweede term van verg. 1).

[1]) De hier gegeven beschouwingen gelden voor alle gevallen, waarin trillingen opgenomen en weergegeven moeten worden, dus ook voor microfoons, gramofoonopnemers, enz. Bijzonder leerzaam is een vergelijking met de keelmicrofoon, die in dit tijdschrift **5**, 6, 1940, beschreven werd. Daar werden eveneens de „directe" en de „indirecte" aandrijving tegenover elkaar geplaatst en werd, evenals in ons geval, de indirecte aandrijving gekozen. In dat geval was het echter juist te doen om het kwadratische verloop der verhouding x_0/y_0 als functie van de frequentie, dat men bij frequenties beneden de resonantie verkrijgt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Bij de constructie gingen we van de gedachte uit, dat de trillingsopnemer zonder meer in elke willekeurige stand moest kunnen worden gebruikt. Nu zullen zich de spoelen, wanneer men de opnemer van de horizontale in de verticale stand brengt, over een afstand x_m verplaatsen, die gegeven is door

$$c\,x_m = m\,g,$$

(g = versnelling door de zwaartekracht)

dus

$$x_m = g/\omega_0^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Aangezien de spoelen voor een lineair verband tusschen spanning en uitwijking steeds eenzelfde magnetische flux moeten doorsnijden, zou een al te

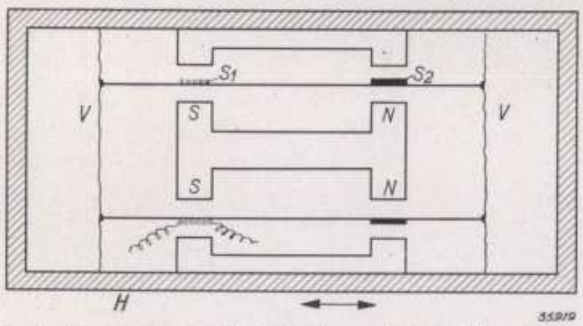


Fig. 3. Doorsnede van de electrodynamische trillingsopnemer (sterk vereenvoudigd). In de ringvormige luchtspleten van een magnetisch circuit, dat bekrachtigd wordt door een permanente magneet, bewegen de spoelen S_1 en S_2. Deze zijn onderling vast verbonden en aan twee membraanveeren V opgehangen. S_1 levert de uitgangsspanning, S_2 (een koperen ring) de gewenschte dempingskracht.

groote variatie x_m van de ruststand der spoelen klaarblijkelijk tot zeer oneconomische constructies leiden. Uit verg. (5) volgt, dat hierdoor een onderste grens voor de te kiezen eigenfrequentie ω_0 wordt voorgeschreven. De hier beschreven opnemer werd voor een maximale slag der spoelen van 3,75 mm geconstrueerd, terwijl het gewenscht was trillingsamplituden tot 2 mm te kunnen meten. De toelaatbare variatie x_m van de ruststand is dus 1,75 mm, waardoor volgens (5) $\omega_0/2\pi = 12$ per/sec kon worden gemaakt.

Is hiermee de verhouding c/m bepaald, een verdere beschouwing leert, dat men de totale massa m van het bewegende systeem liefst zoo klein mogelijk moet maken. Men leidt gemakkelijk af, dat de dempingscoëfficient r (verg. 1) evenredig is met het volume v van de dempingsring en met het kwadraat der veldsterkte H_2 in de luchtspleet [2]). Dus wordt de dempingsfactor D:

$$D = \frac{r}{2\,\omega_0 m} \sim \frac{H_2^2 v}{m} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Aangezien v, op een zekere, door de vereischte speling van de ring in de spleet gegeven factor na, gelijk is aan het spleetvolume, is $H_2^2 v$ in wezen de totale magnetische energie en derhalve evenredig met de hoeveelheid magneetstaal. Voor het verkrijgen van de gewenschte dempingsfactor ($D \approx 0{,}5$) is dus — bij eenmaal gekozen ω_0 — des te minder magneetstaal noodig, naarmate m kleiner is, en een beperking van de noodige hoeveelheid magneetstaal is zeer gewenscht, niet alleen om economische redenen, maar ook om de geheele trillingsopnemer zoo klein en licht mogelijk te houden, opdat de beweging van het te onderzoeken object niet door het aanbrengen van de opnemer zelf beïnvloed kan worden. Vanzelfsprekend kiest men daarom ook een soort magneetstaal met zoo groot mogelijke magnetische energie per cm^3.

Aan het verkleinen van de opnemer wordt in hoofdzaak een grens gesteld door de eischen betreffende de te verkrijgen gevoeligheid. De in de spoel S_1 geïnduceerde spanning is

$$e = l \cdot H_1 \cdot \frac{dx}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ volt}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

waarbij l (cm) de draadlengte is en H_1 (gauss) de veldsterkte in de spleet, waarin de spoel S_1 beweegt. Om met een minimum hoeveelheid magneetstaal (magnetische energie $H_1^2 v_1$) een bepaalde gevoeligheid $e/dx/dt$ te verkrijgen, zal men het volume v_1 van de luchtspleet, dus ook dat van de spoel, zoo klein mogelijk en de draadlengte l zoo groot mogelijk maken. Dit beteekent een geringe draaddikte en vele windingen. Hierin is men echter beperkt door de eisch, dat de draad nog zonder moeilijkheden gewikkeld moet kunnen worden, en dat de zelfinductie der spoel (die evenredig is met de spoeldiameter en het kwadraat van het aantal windingen) zoo laag gehouden moet worden, dat de resonantie tusschen de zelfinductie en de eigen capaciteit der spoel + de capaciteit van de aansluitkabel voldoende hoog boven het frequentiegebied ligt, waarin men wil meten. Zoodoende is men toch aan een bepaald, niet verder te verkleinen spoelvolume gebonden en daardoor wordt niet alleen de voor het verkrijgen van het veld H_1 vereischte hoeveelheid magneetstaal voorgeschre-

---

[2]) Is l de lengte van de spoel (omtrek van de ring) in cm, H de veldsterkte in gauss, dan is de geïnduceerde spanning in volt

$$e = 10^{-8}\, l \cdot H \cdot dx/dt.$$

Deze veroorzaakt een stroom $i = e/R$ (R = electrische weerstand van de ring), en hierdoor een remmende kracht

$$K = 0{,}1 \cdot H \cdot i \cdot l = 0{,}1 \cdot H \cdot l \cdot e/R.$$

Door invullen van e en van $R = \varrho \cdot l/q$ (ϱ = soortelijke weerstand, q = doorsnede van de ring) verkrijgt men:

$$K = \frac{10^{-9} \cdot H^2 \cdot v}{\varrho} \cdot \frac{dx}{dt} = r \frac{dx}{dt}.$$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

ven, maar wegens de bijdrage der spanningsspoel tot de massa m in verg. (6) ook tot op zekere hoogte de hoeveelheid staal, noodig voor het veld H_2, waarin de dempingsring beweegt.

Heeft men m zoo klein mogelijk gemaakt, dan moet voor een gegeven eigenfrequentie ook c klein worden, dwz. de veeren moeten in de trillingsrichting zeer slap zijn. In een richting loodrecht hierop moeten zij echter zeer stijf zijn om steeds een behoorlijk centrische beweging der spoelen in de ringvormige luchtspleten te waarborgen. Dit is bereikt door de toepassing van membraanveeren, waarbij met een betrekkelijk geringe zijdelingsche speelruimte der spoelen in de spleten kon worden volstaan. Toch is deze speling wederom een oorzaak, waarom men het geheele systeem niet al te klein kan maken. Immers, bij een evenredige verkleining van alle overige afmetingen gaat het niet nuttig te gebruiken gedeelte van het spleetvolume een hoe langer hoe grootere rol spelen.

Het verkregen oscillogram

De in de spoel S_1 opgewekte EMK e is evenredig met de snelheid dx/dt, waarmee de spoel beweegt. Voeren we dus de spanning van de spoel rechtstreeks aan een kathodestraaloscillograaf toe, dan verkrijgen we een beeld van de oogenblikswaarden der trillingssnelheid. Een dergelijk snelheidsoscillogram wordt inderdaad vaak gebruikt bij het onderzoek van trillingen van acoustische frequenties, daar de snelheid een betere maat voor het door dergelijke trillingen veroorzaakte lawaai levert dan de uitwijking. In het algemeen echter zal de werktuigkundige zich meer interesseeren voor de uitwijking zelf. Een spanning, evenredig met de uitwijking x, wordt verkregen, door de spanning e der spoel aan de in *fig. 4* geschetste eenvoudige schakeling toe te voeren. Is $R \gg 1/\omega C$, dan is de stroom door de condensator practisch $i = e/R$ en de spanning op de condensator wordt:

$$e_c = \frac{1}{C}\int i\,dt = \frac{1}{RC}\int \text{const.}\frac{dx}{dt}\,dt = \text{const.}' \cdot x.$$

De spanning e_c, toegevoerd aan de kathodestraal-

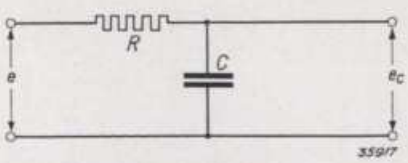


Fig. 4. „Integreerend element". Is de spanning e (uitgangsspanning van de trillingsopnemer) evenredig met de snelheid dx/dt van het trillend object, dan is de spanning e_c evenredig met de uitwijking x, mits $R \gg 1/\omega C$. Door de spanning e_c toe te voeren aan een kathodestraaloscillograaf, wordt het verloop der te onderzoeken trilling op het fluorescentiescherm zichtbaar gemaakt.

oscillograaf, levert dus een oscillogram van de uitwijkingen.

Bij zuiver sinusvormige trillingen geven de verkregen snelheids- en uitwijkingsoscillogrammen een juist beeld van de beweging van het trillende object. Dit is echter niet zonder meer het geval, wanneer de trilling harmonischen bevat, aangezien dan voor een getrouwe weergave noodig is, dat zoowel de amplitudeverhoudingen als de onderlinge faseverschillen der componenten bewaard blijven. Aan de eerste eisch is voldaan, wanneer alle voorkomende frequenties in het vlakke gedeelte der karakteristiek (fig. 2) vallen. De tweede voorwaarde beteekent, dat de faseverschuiving (φ in verg. 4, waarbij voor het uitwijkingsoscillogram nog de faseverschuiving in de kring fig. 4 komt) voor alle optredende frequenties gelijk moet zijn, hetgeen eerst bij betrekkelijk hooge frequenties het geval is, zie *fig. 5*. De invloed van faseverschuivingen

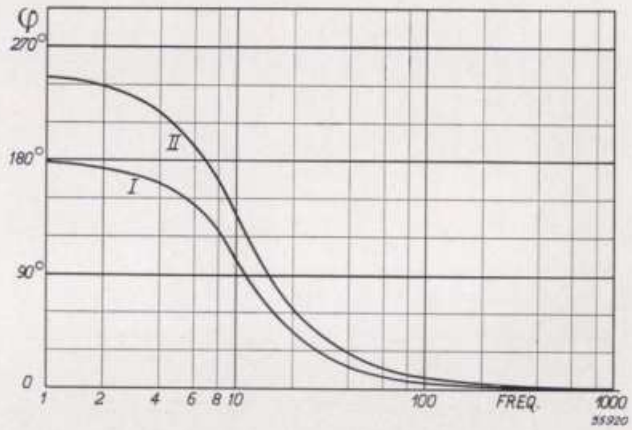


Fig. 5. Faseverschuiving φ der verkregen oscillografische afbeelding ten opzichte van de oorspronkelijke trilling, als functie van de frequentie (per/sec). Kromme I geldt voor het snelheidsoscillogram (φ is hier gegeven door verg. 4, waarin $D = 0{,}48$ en $\omega_0 = 2\pi \cdot 12$ is gesteld), kromme II voor het uitwijkingsoscillogram.

mag hier, in tegenstelling met hetgeen men in de acoustiek gewend is, niet zonder meer verwaarloosd worden, daar voor de destructieve werking en de hinderlijkheid juist de topwaarden der uitwijking, die sterk van de faseverhouding der harmonischen afhangen, van het grootste belang zijn. *Fig. 6* illustreert, welke verschillen tusschen het oscillogram en de oorspronkelijke trilling kunnen optreden. Hiermee moet bij het beoordeelen en interpreteeren der oscillogrammen terdege rekening gehouden worden.

Een andere vervorming van het oscillogram zou kunnen ontstaan door een afwijking van de lineariteit van de veerkracht, die in verg. (1) is ondersteld. Bij horizontale bewegingsrichting blijkt de veerkracht inderdaad niet volmaakt lineair te zijn tenge-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

volge van een onvermijdelijke zeer geringe doorzakking der membraanveeren. De invloed hiervan is echter niet noemenswaard: bij de grootste te

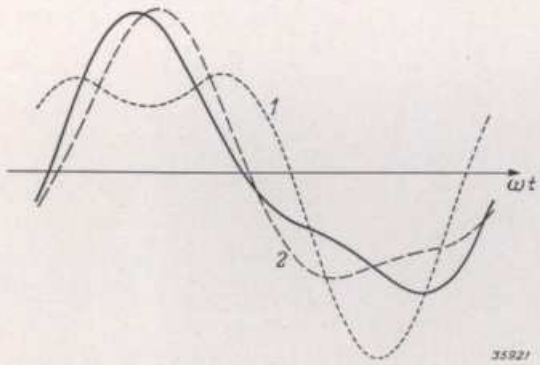


Fig. 6. Het huis van de trillingsopnemer moge bewegen volgens $x = \sin \omega t + 0{,}3 \cdot \sin (2\omega t - 45^\circ)$: getrokken kromme. Al naar gelang de waarde van ω zal het met de GM 5520 verkregen oscillogram min of meer van deze kromme afwijken. Bij $\omega/2\pi = 10$ per/sec krijgt men de gestippelde kromme *1*, bij $\omega/2\pi = 25$ per/sec de gestippelde kromme *2*.

meten amplituden (in horizontale richting 3,75 mm, zie hierboven) ontstaan in de sinustoppen afwijkingen van hoogstens enkele procenten.

De meetmethode en de verkregen vergrooting

Om de trillingen niet alleen in hun verloop te bestudeeren, maar ook kwantitatief te bepalen, wordt als volgt te werk gegaan. Terwijl de spanning e_c aan de kathodestraaloscillograaf wordt toegevoerd, schakelt men de tijdbasis uit, zoodat op het scherm een verticale lichtstreep van bepaalde lengte komt te staan. Hierna voert men in plaats van e_c met behulp van een potentiometer, waardoor een nauwkeurig vastgelegde, uit het lichtnet afkomstige wisselstroom vloeit, een zoodanige wisselspanning aan de oscillograaf toe, dat een lichtstreep van dezelfde lengte verkregen wordt. De potentiometer is rechtstreeks in micron (trillingsamplitude) geijkt. Op overeenkomstige wijze kan, indien men het integreerende element fig. 4 achterwege laat, de snelheidsamplitude worden bepaald.

De ijking van de potentiometer geldt alleen voor het vlakke gedeelte der frequentiekarakteristiek. Voor lagere frequenties moet het resultaat met een uit de karakteristiek volgende correctiefactor worden vermenigvuldigd. Daar de karakteristieken voor verschillende exemplaren van de trillingsopnemer steeds iets verschillen tengevolge van een onvermijdelijke geringe spreiding in de eigenschappen der veeren en magneten enz., wordt bij de fabricage voor elk exemplaar de individueele kromme der correctiefactoren opgenomen en bijgevoegd. In feite worden twee correctiekrommen gebruikt, één voor ongeveer verticale stand van de opnemer en één voor ongeveer horizontale stand. Het kleine verschil der beide krommen is te wijten aan de reeds vermelde geringe doorzakking der membraanveeren. In *fig.* 7 geven we als voorbeeld een dergelijke correctiekromme weer. Boven ca 50 per/sec is geen correctie noodig, voor frequenties tusschen ca 10 en 50 per/sec is zij nog betrekkelijk gering, en eerst bij nog lagere frequenties wordt het voor een goede meting noodig, de frequentie nauwkeurig te kennen. Deze kan men met de oscillograaf bepalen.

Fig. 7. Eén der individueel opgenomen correctiekrommen. Deze levert de factor, waarmee voor elke frequentie de aflezing aan de geijkte potentiometer moet worden vermenigvuldigd om de ware amplitude (linker schaal) resp. de snelheidsamplitude (rechter schaal) te krijgen.

Bij de beschreven meetmethode is stilzwijgend ondersteld, dat de kathodestraaloscillograaf voor de frequentie der te onderzoeken trilling even gevoelig is als voor die der vergelijkingsspanning (50 per/sec). Bij de reeds eerder in dit tijdschrift beschreven [3]) kathodestraaloscillograaf GM 3152 is dit het geval tot frequenties van ca 10 per/sec, bij de nieuwe oscillograaf GM 3156 zelfs tot 0,3 per/sec.

De trillingsopnemer, in combinatie met het integreerend element, levert in het vlakke gedeelte der frequentiekarakteristiek een uitgangsspanning van 1 mV (topwaarde) voor een amplitude van 1 micron (resp. voor een snelheidsamplitude van 50 micron/sec). Op het scherm van de oscillograaf GM 3156 verkrijgt men met deze spanning bij gebruikmaking van de grootste versterking een streepje van 7 mm lengte (dubbele amplitude). De te onderzoeken trilling wordt dus met een 3500-voudige vergrooting afgebeeld. Bij gebruik van de GM 3152 is de vergrooting ongeveer een factor 6 kleiner. De afleesnauwkeurigheid bij de beschreven, vergelijkende methode kan op ca 1 mm streeplengte worden gesteld.

---

[3]) Philips techn. T. 4, 210, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

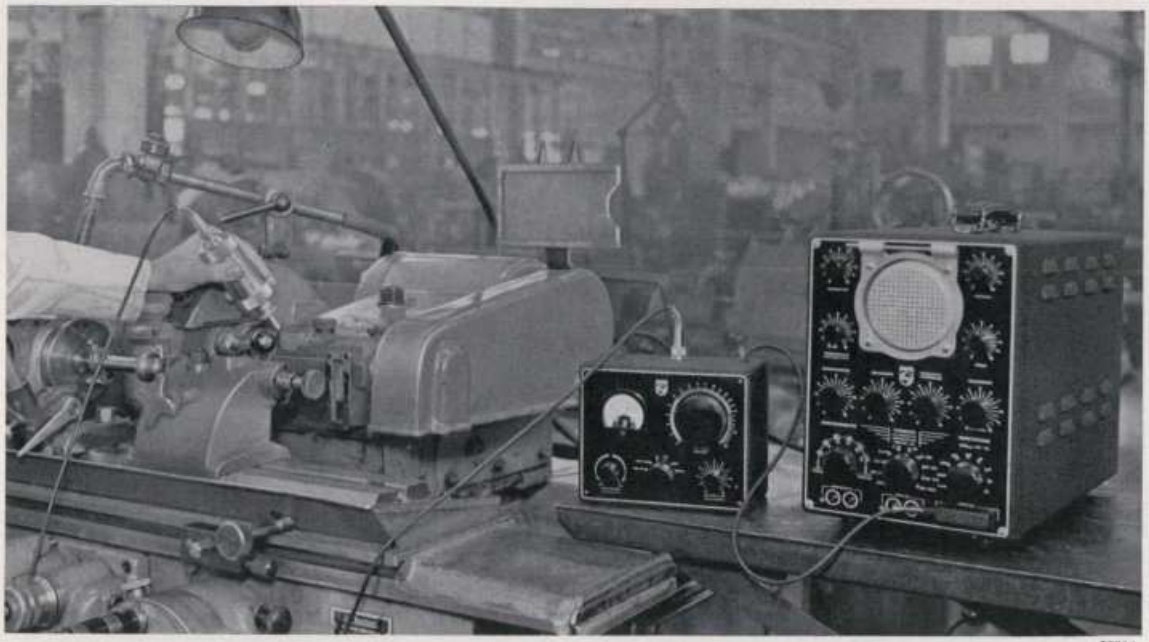


Fig. 8. Volledige opstelling voor het trillingsonderzoek met de opnemer GM 5520. Deze wordt hier met een korte stalen pen tegen de te onderzoeken machine gedrukt (het betrof hier een onderzoek omtrent de invloed van een onbalans in een slijpmachine op de nauwkeurigheid van de bewerking). Rechts de kathodestraaloscillograaf GM 3156 en het kastje, waarin het integreerend element, de geijkte potentiometer voor de bepaling der amplituden en verder toebehooren zijn ondergebracht.

Bij metingen in de buurt van de resonantiefrequentie worden de uitkomsten een weinig beïnvloed door de temperatuur van de trillingsopnemer. Deze invloed berust op de temperatuurafhankelijkheid van de weerstand van de dempingsring, waardoor de dempingsfactor, die het verloop der frequentiekarakteristiek nabij de resonantie bepaalt, eenigszins kan veranderen. De frequentiekarakteristieken worden bij 20 °C opgenomen. Metingen bij 12 per/sec leveren dan bij 10° temperatuurverhooging ca 4% te groote waarden, terwijl naar hoogere en lagere frequentiès de temperatuursinvloed snel verdwijnt.

In *fig. 8* is een foto van een volledige meetopstelling weergegeven. In het kastje links naast de kathodestraaloscillograaf, dat door een afgeschermde kabel met de trillingsopnemer is vervonden, zijn het integreerend element alsmede de potentiometer, de noodige schakelaars en verder toebehooren ondergebracht.

Het aanbrengen van de opnemer aan het trillend object

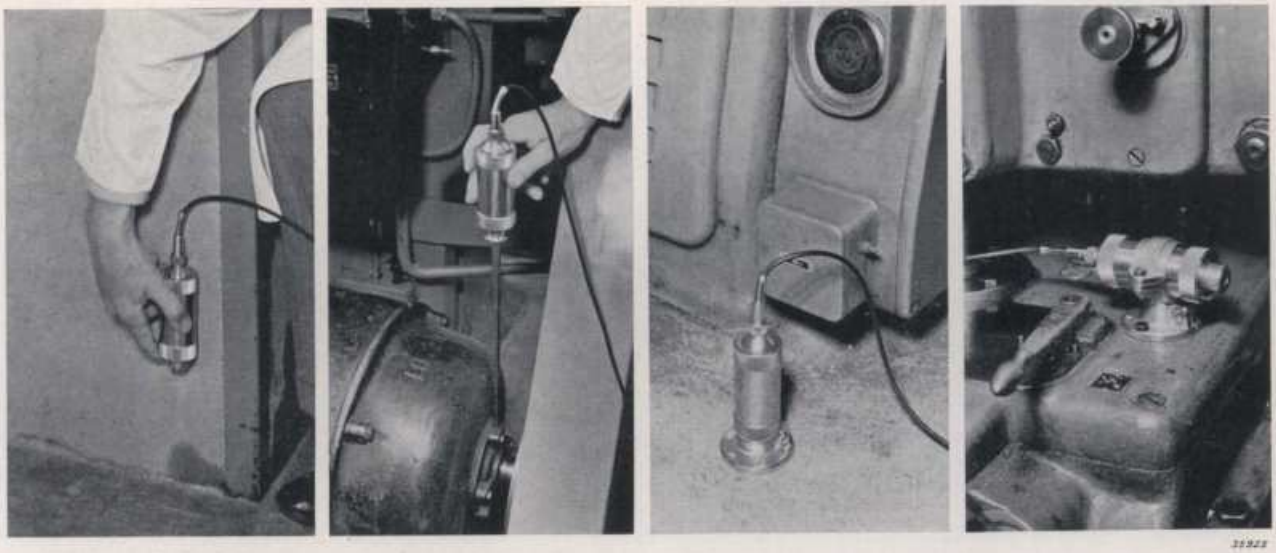
Het huis van de trillingsopnemer moet de te onderzoeken beweging van het trillend object volgen. Wanneer het om lage frequenties gaat, bijv. beneden 100 per/sec, is het hiervoor voldoende om de opnemer met de hand tegen het trillende vlak te drukken. Daarbij moet de lengteas van de opnemer in de trillingsrichting komen te staan, daar de opnemer slechts op de trillingscomponent in zijn asrichting reageert. Van deze eigenschap kan ook gebruik worden gemaakt om de trillingsrichting, zoo deze niet bekend is, op te sporen. Voor het geval, dat de trillingsrichting evenwijdig is aan het vlak, waartegen de opnemer gedrukt kan worden, moet er voldoende wrijving tusschen het vlak en het huis van de opnemer aanwezig zijn. Hiervoor is het huis van twee gekartelde ringen voorzien (*fig. 9a*).

Voor het onderzoeken der beweging van verschillende, eventueel niet gemakkelijk toegankelijke, punten van het trillend object kan men een lange stalen pen gebruiken, die men in de opnemer schroeft en waarmee men het object als het ware kan aftasten (fig. 9*b*). De lange pen is ook nuttig voor trillingsmetingen aan electromotoren en dergelijke objecten, teneinde de trillingsopnemer op eenige afstand te houden van eventueele magnetische strooivelden. Weliswaar geeft de ijzeren mantel van de opnemer een behoorlijke magnetische afscherming (de veldsterkte van een uitwendig veld wordt ter plaatse van de spoel ongeveer 30 maal kleiner dan zij zonder deze afscherming zou zijn), toch zouden er tengevolge van het groote aantal windingen van de opnemerspoel meetfouten kunnen ontstaan: een uitwendig wisselveld in de lengterichting der spoel van 1 gauss bij 50 per/sec veroorzaakt een spanning aan de uitgang van het integreerend element van $^1/_4$ mV.

Voor het puntsgewijze aftasten van het trillende object is het zeer welkom, dat de opnemer een betrekkelijk sterke demping bezit (dempingsfactor

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023



a *b* *c* *d*

Fig. 9. *a-d* Verschillende manieren, waarop de trillingsopnemer op het trillende object kan worden aangebracht.

$D = 0{,}48$). De door verg. (2-4) gegeven stationnaire trilling wordt immers telkens na het opzetten van de opnemer voorafgegaan door een aanloopslingering, die evenredig met $\exp(-\omega_0 Dt)$ uitsterft. Met $\omega_0 = 2\pi \cdot 12$ en $D = 0{,}48$ vindt men, dat deze factor in minder dan 1/5 sec reeds op 1/1000 is gedaald, zoodat het verkregen oscillogram vrijwel onmiddellijk stationnair wordt.

Er werd reeds op gewezen, dat de beweging van het trillend object door het toevoegen van de massa van de opnemer niet beïnvloed mag worden. De hier beschreven opnemer weegt 580 gram, wat bij de meeste in de machine- en constructiebouw voorkomende objecten geheel verwaarloosd kan worden. Voor het onderzoek van kleinere objecten zou een geringer gewicht, dus een nog kleinere opnemer gewenscht zijn, dit zou echter blijkens de hierboven gegeven beschouwingen ten koste van de gevoeligheid van de opnemer moeten gaan.

Bij onderzoekingen, die zich over eenige tijd uitstrekken, zooals bijv. het balanceeren van motoren of het trillingsvrij opstellen van machines, is het gemakkelijker de trillingsopnemer niet telkens met de hand op het object te zetten, doch hem er op te bevestigen. Dit kan geschieden met behulp van een voetplaat (fig. 9*c*), die desgewenscht op het trillende vlak kan worden vastgeschroefd, en, wanneer de opnemer evenwijdig aan het vlak moet staan, met behulp van een klembeugel (fig. 9*d*).

Het vastschroeven met behulp van de voetplaat is in het bijzonder ook op zijn plaats, wanneer men trillingen met hoogere frequenties wil onderzoeken. De oppervlaktelaag van het trillend voorwerp vormt tezamen met de massa van de opnemer een trillingssysteem op zichzelf, waarvan de eigenfrequentie boven het te onderzoeken frequentiegebied moet liggen, willen de uitkomsten niet geheel foutief worden. Een zachte oppervlaktelaag of een eventueel aanwezige deklaag van verf of vuil kan een lage eigenfrequentie tengevolge hebben; deze wordt echter hooger, naarmate de opnemer met een grootere druk op het oppervlak wordt aangebracht.

Om de verschillende bevestigingsmethoden nader te onderzoeken, gebruikten wij een massief blok, dat door een krachtig luidsprekersysteem in trilling werd gebracht en waarop in een kleine holte een miniatuuruitvoering van de gewone trillingsopnemer onwrikbaar was vastgeklemd. Hiermede werd de beweging van het blok gemeten, terwijl de uitkomst telkens vergeleken werd met die van een op verschillende wijzen aan het blok bevestigde gewone opnemer. Het bleek, dat de voor tangentieele trillingen toegepaste combinatie: opnemer in beugel — beugel in voet, bij vast aangedraaide schroeven bruikbaar is tot frequenties van 200 per/sec. Bij gebruik van de aandrijfpen of de kartelranden van het huis kan men tot omstreeks 500 per/sec meten, terwijl men in het geval, dat de opnemer in het voetstuk (fig. 9*c*) wordt geklemd en op het trillende vlak wordt vastgeschroefd, er zeker van kan zijn, dat de opnemer nog trillingen met frequenties van 1000 per/sec en hooger getrouw volgt. Steeds is hierbij een niet-veerend, hard oppervlak van het trillende object ondersteld.

Toepassingsvoorbeelden

In het bovenstaande werden terloops reeds een aantal toepassingsmogelijkheden genoemd. We wil-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

len hier een tweetal voorbeelden nog nader bespreken.

Het eerste voorbeeld [4]) heeft betrekking op het balanceeren van een snelloopend aggregaat. Een compressor voor cokesovengassen, aangedreven door een stoomturbinerad met 4800 omw/min, was op een betrekkelijk dunne as gemonteerd, om de eigenfrequenties der mogelijke buigingstrillingen lager te maken dan het bedrijfstoerental. Een dergelijk systeem moet behalve statisch ook dynamisch gebalanceerd worden, hetgeen gewoonlijk bij een betrekkelijk laag toerental wordt gedaan. Tengevolge van de dunne as kunnen echter bij het bedrijfstoerental aanzienlijke buigingen en daarmee nieuwe, bij laag toerental niet aanwezige onbalansen optreden. Dit kon gemakkelijk worden gecontroleerd, door de hier beschreven trillingsopnemer op het huis van de turbine te bevestigen en de optredende vibraties te meten. Daarbij werd eerst de in *fig. 10* weergegeven gestippelde kromme verkregen: de bij laag toerental uitgevoerde balanceering bleek inderdaad bij het bedrijfstoerental ondeugdelijk te zijn. Door de balanceergewichten zoodanig te verplaatsen, dat de as een zoo klein mogelijke buigingsbelasting ondervond, werd tenslotte de getrokken kromme verkregen: in het normale bedrijf is hier practisch geen vibratie meer aanwezig.

Als tweede voorbeeld noemen we een onderzoek van trillingsmachines voor levensduurproeven van lampen. Bij de beproeving van gloeilampen op trillingsbestendigheid worden brandramen gebruikt, die door een motor met een excentrische roteerende massa in trilling worden gebracht. Om vergelijkbare resultaten te verkrijgen is het hierbij van groot belang, dat alle lamphouders in de ramen der verschillende trillingsmachines met dezelfde amplitude trillen, zoowel in de grondfrequentie, alsook in de eventueel aanwezige harmonischen.

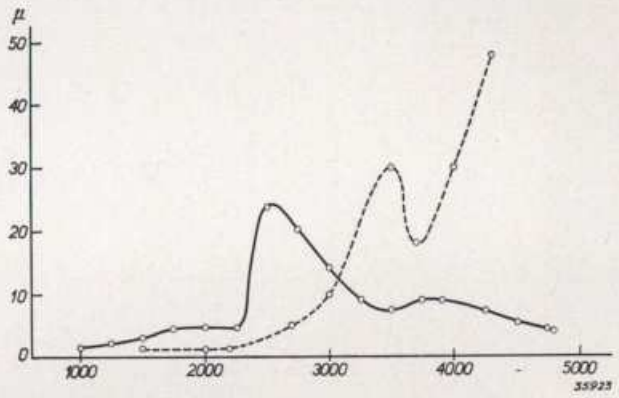


Fig. 10. Vibraties van het huis van een turbocompressor, als functie van het toerental (omw/min). Bij de gestippelde kromme was de balanceering voor het bedrijfstoerental (4800 omw/min) onvoldoende, de balanceering werd dus voortgezet, totdat de getrokken kromme was verkregen. (N.V. Werkspoor.)

Met de beschreven opnemer hebben we dit voor verschillende trillingsmachines nagegaan. Bij één der machines werd inderdaad op alle in het trilraam aanwezige lamphouders eenzelfde amplitude van de grondfrequentie gevonden, er bleek echter ook een vrij sterke zevende harmonische aanwezig te zijn, waarvan de amplitude voor verschillende houders eenige % uiteenliep. Bij een andere machine ontbrak de hoogere harmonische. Het is duidelijk, dat bij het beoordeelen der levensduurproeven terdege met dergelijke verschillen rekening gehouden moet worden. Voor het opheffen ervan kan een trillingsonderzoek, als hier beschreven, de noodige inlichtingen verschaffen.

[4]) De gegevens van dit voorbeeld, dat afkomstig is uit de practijk der N.V. Werkspoor, hebben wij te danken aan Ir. M. J. Visser van de Afd. Trillingsonderzoek der genoemde N.V.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

ADSORPTIEVERSCHIJNSELEN BIJ METAALCONTACTEN

door J. J. WENT. 541.183.5 : 537.311.4 : 621.3.066.6

De electrische weerstand van metaalcontacten kan gesplitst worden in een „uitbreidingsweerstand", welke bepaald is door inwendige eigenschappen van het contactmateriaal, en een „overgangsweerstand", welke afhangt van de eigenschappen van het contactoppervlak. In dit artikel wordt de overgangsweerstand van schoone metaalcontacten, in het bijzonder van molybdeen, nagegaan. Door de contactstukken in vacuo te verhitten op temperaturen van 1500-1600 °C kan men de overgangsweerstand geheel doen verdwijnen. Nagegaan wordt, hoe de overgangsweerstand van een zoodanig gezuiverd contact verandert, wanneer de contactoppervlakken blootgesteld worden aan zuurstof, en wel bij kamertemperatuur en bij —160 °C. Uit de waarnemingen kunnen conclusies worden getrokken omtrent de adsorptieverschijnselen aan metaaloppervlakken.

In bijna elk electrisch apparaat treden tal van plaatsen op, waar de electrische stroom moet overgaan van één electrische geleider naar een andere electrische geleider, welke er met een zekere druk tegen aan ligt. Bij deze overgang ondervindt de stroom in het algemeen een weerstand van enkele duizendsten tot enkele tienden ohm, afhankelijk van de aard van het contact; in de practijk is het gewenscht om deze weerstand zoo klein mogelijk te doen zijn.

In een vroeger artikel in dit tijdschrift [1]) werd reeds nagegaan, welke verschijnselen de weerstand van een contact bepalen. Hierbij werd de weerstand gesplitst in twee componenten: ten eerste de uitbreidingsweerstand R_u, welke optreedt in het inwendige van de contactmaterialen tengevolge van het feit, dat de stroomlijnen samengesnoerd moeten worden in het zeer kleine contactoppervlak; ten tweede de eigenlijke overgangsweerstand R_o, welke in het contactvlak zelf optreedt. Voornamelijk werd toen de uitbreidingsweerstand R_u behandeld in zijn afhankelijkheid van de contactdruk en van de hardheid van het contactmateriaal. In dit artikel willen wij iets dieper ingaan op de overgangsweerstand R_o. Het onderzoek van deze overgangsweerstand is niet alleen van technisch belang, maar blijkt bovendien een verrassend inzicht te leveren in de adsorptieverschijnselen aan het oppervlak van het contactmateriaal. Het is voornamelijk dit laatste oogpunt, dat in het volgende naar voren zal worden gebracht.

De meetmethode

Om de overgangsweerstand goed te kunnen meten is het van belang de experimenteele voorwaarden zoodanig te kiezen, dat de overgangsweerstand R_o tusschen de contactoppervlakken belangrijk grooter is dan de uitbreidingsweerstand R_u. Deze eisch leidt tot meetcondities, die juist tegengesteld zijn aan de condities, welke men in de practijk bij technische contacten tracht te realiseeren. Is nl. a de straal van het cirkelvormig gedachte contactoppervlak, dan is de uitbreidingsweerstand R_u evenredig met $1/a$, zooals in het reeds aangehaalde artikel werd uiteengezet. De overgangsweerstand daarentegen is omgekeerd evenredig met de grootte van het aanrakingsoppervlak en dus evenredig met $1/a^2$. De verhouding R_u/R_o, welke wij voor ons onderzoek zoo klein mogelijk willen maken, is derhalve evenredig met a. De straal a moet dus zoo klein mogelijk zijn, hetgeen voor onze proeven tegelijkertijd het voordeel met zich mee brengt, dat ook de absolute waarde van de weerstand betrekkelijk groot is en daardoor gemakkelijk kan worden gemeten. Bij technische contacten tracht men daarentegen de absolute waarde van de weerstand juist zoo klein mogelijk te maken en zal derhalve trachten de straal a zoo groot mogelijk te maken.

Om de straal van het aanrakingsoppervlak klein te houden, moet men met lage contactdrukken werken en bovendien een contactmateriaal kiezen met een betrekkelijk groote hardheid. Als contactstukken werden hier twee molybdeen-staven gebruikt, die kruisgewijze over elkaar waren gelegd met een contactdruk van enkele grammen. Om de verhouding R_u/R_o nog sterker te verkleinen werd een gedeelte van de metingen verricht bij lage temperatuur (—160 °C). Hierbij is nl. de soortelijke weerstand van het molybdeen en dus ook de hiermee evenredige uitbreidingsweerstand belangrijk lager dan bij kamertemperatuur, terwijl de overgangsweerstand slechts weinig met de temperatuur verandert [2]).

Enkele waarnemingen

Om te beginnen werd nagegaan of het mogelijk is de overgangsweerstand geheel te doen verdwijnen door het contactoppervlak heel goed schoon te

[1]) Philips techn. T. **4**, 345, 1939.

[2]) Vgl. R. Holm en W. Meissner, Z. Phys. **74**, 715, 1932.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

maken. Hiertoe werden de molybdeen-staafjes in een vacuumbuis geplaatst en langdurig verhit op een temperatuur van ongeveer 1500 °C. Inderdaad blijkt hierdoor de bij kamertemperatuur gemeten contactweerstand voortdurend kleiner te worden en tenslotte tot een eindwaarde te naderen, welke slechts weinig verschilt van de theoretisch berekende zuivere uitbreidingsweerstand. Dit zou beteekenen, dat de overgangsweerstand practisch verdwenen zou zijn.

Een bevestiging hiervan kon worden verkregen door te onderzoeken, hoe de contactweerstand afhangt van de temperatuur. De contactweerstand is samengesteld uit de uitbreidingsweerstand, welke sterk met de temperatuur verandert, en de overgangsweerstand, die practisch onafhankelijk is van de temperatuur. Naarmate de bijdrage van de overgangsweerstand kleiner wordt, zal dus de temperatuurcoëfficient van de totale contactweerstand moeten toenemen, om tenslotte een waarde te bereiken, die gelijk is aan die van de soortelijke weerstand van het contactmateriaal.

Dit blijkt nu inderdaad uit te komen. Naarmate de totale contactweerstand daalt, neemt de temperatuurcoëfficient daarvan toe. De verhouding $R_{20°} : R_{-160°}$, welke als maat voor de temperatuurcoëfficient werd genomen, bereikt tenslotte een waarde van 2,1, terwijl de verhouding van de soortelijke weerstanden van molybdeen voor deze temperaturen 2,3 bedraagt. Onderstelt men, dat R_o geheel onafhankelijk is van de temperatuur, dan volgt uit deze getallen, dat de resteerende overgangsweerstand bij kamertemperatuur ten hoogste 10% bedraagt van de uitbreidingsweerstand.

Nadat op deze wijze een geheel schoon contact was verkregen, werd bij een temperatuur van —160 °C zuurstof in de buis gelaten om te onderzoeken, welke invloed dit heeft op de overgangsweerstand. Het resultaat is in *fig. 1* weergegeven.

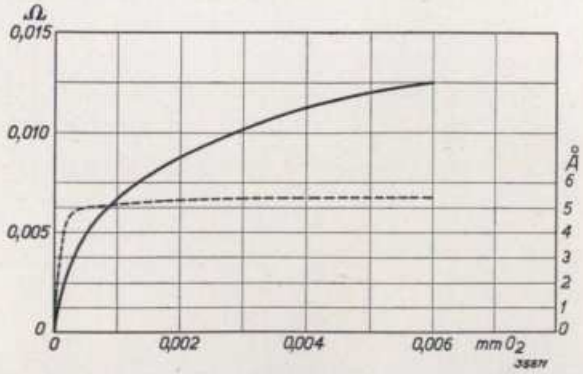


Fig. 1. Getrokken lijn: Contactweerstand als functie van de zuurstofdruk voor een molybdeen-contact bij —160 °C.
Gestippelde lijn: De hieruit afgeleide afstand tusschen de contactstukken, berekend voor een uittreearbeid van 3,8 volt.

De overgangsweerstand vertoont reeds bij zuurstofdrukken van de orde van 10^{-4} mm een sterke toename en bereikt bij een druk van ongeveer 0,01 mm een verzadigingswaarde, welke bij het onderzochte contact ongeveer 0,013 ohm bedraagt. Het verband tusschen de weerstand en de druk is goed reversibel: wordt de zuurstof weer weggepompt, dan verandert de weerstand volgens dezelfde kromme als bij het inlaten van de zuurstof en verdwijnt tenslotte weer geheel. Eenige vertraging in het instellen van de weerstand, die bij elke druk behoort, werd niet waargenomen. Hieruit kan geconcludeerd worden, dat de contactweerstand zich in minder dan 10 sec (d.i. de tijd, noodig voor de meting) bij de zuurstofdruk aanpast.

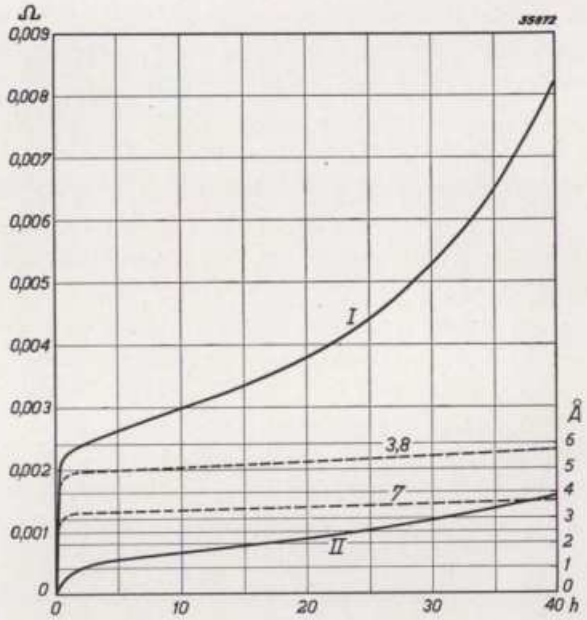


Fig. 2. Kromme *I*: Verloop van de overgangsweerstand van een molybdeen-contact als functie van de tijd, wanneer de contactoppervlakken bij kamertemperatuur blootgesteld worden aan zuurstof.
Kromme *II*: Het gedeelte van de contactweerstand, dat overblijft, wanneer de zuurstof op het betreffende tijdstip wordt weggepompt. De kromme is opgenomen door gedurende het blootstellen aan zuurstof op bepaalde tijdstippen even te evacueeren, een meting te doen en daarna de zuurstof weer toe te laten.
Gestippelde krommen: De uit kromme *II* berekende afstand tusschen de contactstukken, wanneer een uittreearbeid van 3,8 V resp. 7 V wordt ondersteld.

Herhaalt men dezelfde proeven bij kamertemperatuur, dan zijn de resultaten minder eenvoudig. In de eerste plaats is de contactweerstand geen functie van de druk alleen, maar hangt in sterke mate af van de tijd, gedurende welke de contactmetalen aan de zuurstof zijn blootgesteld (zie *fig. 2*, kromme *I*). Bovendien is het verband tusschen zuurstofdruk en contactweerstand niet omkeerbaar: wordt op een bepaald tijdstip de zuurstof weer weggepompt, dan blijft een zekere weer-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

stand over, die in fig. 2 door kromme *II* is weergegeven. Men ziet, dat beide krommen als functie van de tijd gestadig oploopen zonder dat van een verzadiging sprake kan zijn.

Verklaring en aanvulling van de waarnemingen

De verandering van de contactweerstand bij het toelaten van zuurstof wijst er op, dat de metaaloppervlakken op de een of andere wijze door het zuurstofgas worden aangetast. Om, uitgaande van deze onderstelling, het verschil tusschen het gedrag bij lage temperatuur en bij kamertemperatuur te begrijpen, moet men tenminste twee processen onderstellen: een omkeerbaar proces, dat snel verloopt, en een niet omkeerbaar proces, dat pas bij een hoogere temperatuur optreedt en veel langzamer verloopt. Beide processen zijn van dien aard, dat het molybdeen bedekt wordt met een laag, die een weerstand heeft van de orde van 10^{-8} à 10^{-9} ohm cm².

Voor een nadere identificatie van deze processen kan men het beste uitgaan van hetgeen reeds bekend is over de adsorptie van gassen aan metalen.

a) Van der Waalssche adsorptie

Stelt men een metaaloppervlak bloot aan zuurstof, dan wordt het met een monomoleculaire laag van zuurstof bedekt. De moleculen van deze zuurstoflaag worden aan het metaaloppervlak gebonden door betrekkelijk zwakke aantrekkingskrachten, welke altijd tusschen moleculen aanwezig zijn, ook al vertoonen de moleculen geen chemische activiteit ten opzichte van elkaar. Men noemt ze van der Waalssche krachten, omdat het krachten van hetzelfde type blijken te zijn als die, welke van der Waals verantwoordelijk stelde voor de condensatie van gassen.

Hoewel de sterkte der van der Waalssche binding in het algemeen slechts enkele procenten bedraagt van die der chemische binding, is ze toch voldoende groot om bij een zuurstofdruk van minder dan 0,01 mm aanleiding te geven tot een volkomen dichte bedekking van het metaal met zuurstofmoleculen. Het gevolg is, dat de twee stukken metaal niet dichter bij elkaar kunnen komen dan met een tusschenruimte gelijk aan tweemaal de dikte van een zuurstofmolecuul. Het ligt voor de hand, dat de van het eene contactstuk naar het andere overgaande electronen bij het passeeren van deze tusschenruimte een zekere weerstand zullen ondervinden.

Om de grootte van deze weerstand te kunnen berekenen, beschouwen wij het contact als eenvoudig te bestaan uit twee stukken metaal, welke zich op een bepaalde afstand van elkaar bevinden, en houden geen rekening met het feit, dat de tusschenruimte tusschen deze stukken metaal met zuurstof is gevuld. De electronen, welke van het eene contactstuk naar het andere over willen gaan, moeten dan uit het metaal treden in de leege ruimte, waartoe een zekere uittree-arbeid φ noodig is, en kunnen daarna het tweede contactstuk binnen treden, waarbij de uittree-arbeid terug wordt gewonnen.

Daar de kinetische energie van vrijwel alle electronen in het metaal kleiner is dan de uittree-arbeid, zou men moeten verwachten, dat de electronen niet in staat zijn om het metaal te verlaten, zoodat de contactweerstand oneindig groot zou moeten zijn. Bij een niet al te kleine afstand tusschen de electroden (bijv. grooter dan 10^{-5} cm) is dit inderdaad het geval. Wordt de afstand echter kleiner dan 10^{-6} cm, dan hebben ook electronen met een kinetische energie, kleiner dan de uittree-arbeid een zekere kans om van een contactstuk

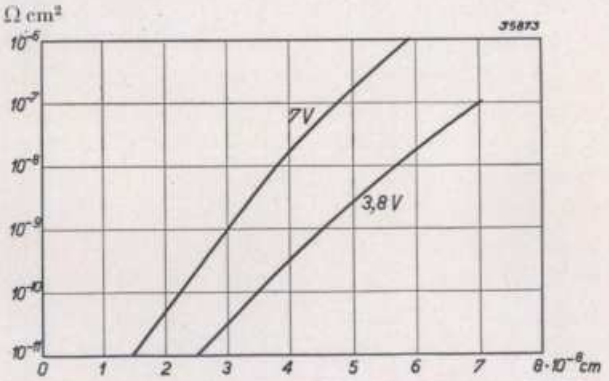


Fig. 3. Verband tusschen de afstand van twee metaalstukken en de overgangsweerstand voor verschillende waarden van de uittree-arbeid. In de eerste benadering wordt dit verband uitgedrukt door verg. (1); de figuur geeft een hoogere benadering weer.

naar het andere over te gaan. Dit is een gevolg van het golfkarakter van de materie, dat zijn invloed doet gelden, wanneer men de beweging van electronen beschouwt over afstanden die niet zeer groot zijn ten opzichte van hun golflengte [3]). Berekent men volgens de golfmechanica de overgangsweerstand van een contact met een aanrakingsoppervlak O, een afstand d tusschen de contactstukken en een uittree-arbeid φ, dan vindt men in de eerste benadering:

$$R_o = \frac{h^2\, d}{\sqrt{2m\varphi}\, O} \exp\left(\frac{\pi d}{h}\sqrt{2m\varphi}\right), \quad . \; . \quad (1)$$

waarbij h de zg. constante van Planck en m de massa van het electron is. In *fig. 3* is het verband

[3]) Een kwalitatieve uitleg van dit verschijnsel werd in dit tijdschrift gegeven in een artikel over sperlaaggelijkrichters: Philips techn. T. 4, 104, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

tusschen $R_o \times O$ en d weergegeven voor verschillende waarden van de uittreepotentiaal φ. Bedenkt men, dat het aanrakingsoppervlak van contacten in het algemeen slechts van de orde van grootte van 10^{-8} cm² is, dan ziet men, dat een merkbare geleidbaarheid tusschen twee metaaloppervlakken slechts kan optreden voor afstanden d tusschen deze contacten tot ca 10^{-7} cm.

In het geval van molybdeencontacten heeft de uittreepotentiaal een waarde van 3,8 volt. Berekent men voor deze waarde uit de waargenomen overgangsweerstand de afstand tusschen de metaaloppervlakken, dan vindt men als functie van de zuurstofdruk een verloop, dat in fig. 1 met een gestippelde lijn is aangegeven. Het is opvallend, dat de afstand tuschen de metaaloppervlakken reeds bij een belangrijk lagere zuurstofdruk zijn eindwaarde schijnt te naderen dan de overgangsweerstand: tusschen 0,0005 en 0,06 mm zuurstofdruk verandert de afstand d slechts met 10%, de overgangsweerstand R_o echter wordt door deze verandering meer dan verdubbeld.

De eindwaarde van de afstand d bedraagt 5,4 Å. Aangezien de dikte van een zuurstofmolecuul volgens onderzoekingen met behulp van electronendiffractie 2,72 Å bedraagt, stemt dit precies overeen met hetgeen men moet verwachten, wanneer elk van de contactstukken door een monomoleculaire laag van zuurstof wordt bedekt (zie *fig. 4*). Soms werd bij hooge zuurstofdrukken een ca 100× grootere contactweerstand waargenomen, correspondeerende met een afstand $d = 8$ Å. Blijkbaar werd in deze gevallen één van de contactstukken nog met een tweede laag zuurstof bedekt ($3 \times 2{,}72 = 8{,}16$).

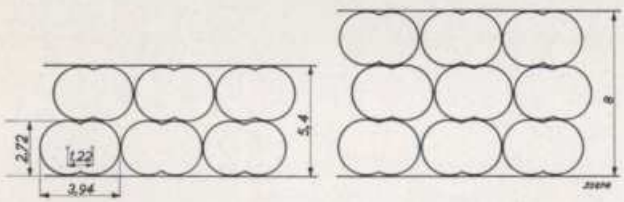


Fig. 4. Een afstand van 5,4 Å biedt ruimte voor een dubbele laag van zuurstofmoleculen; een afstand van 8 Å biedt ruimte voor een drievoudige laag van zuurstofmoleculen.

b) Geactiveerde adsorptie

Worden de contactoppervlakken bij kamertemperatuur blootgesteld aan zuurstof, dan constateert men, zooals reeds werd gezegd, een geleidelijke toename van de contactweerstand met de tijd, welke bij wegpompen van de zuurstof slechts gedeeltelijk weer verdwijnt. Blijkbaar gaat de door van der Waalssche krachten gebonden zuurstof bij kamertemperatuur geleidelijk over in een nieuwe toestand, waarin ze veel sterker aan het oppervlak hecht, zoodat de moleculen bij het wegpompen van de zuurstof niet zonder meer worden meegenomen.

Een verschijnsel, waarmee dit gedrag kan worden verklaard, is in de scheikunde bekend onder de naam van geactiveerde adsorptie. Hieronder verstaat men, dat moleculen, welke door van der Waalssche krachten zijn geadsorbeerd, door een zeker activeeringsproces in een toestand worden overgevoerd, waarin de binding veel sterker is. In het geval van zuurstof kent men bijv. het verschijnsel, dat de geadsorbeerde moleculen in atomen worden gesplitst, welke daarna door de onderlaag chemisch worden gebonden; deze chemische binding is inderdaad veel sterker dan die door van der Waalssche krachten.

Een aanschouwelijk beeld van dit proces kan men geven door de bindingsenergie van een zuurstofmolecuul en van de daaruit gevormde atomen uit te zetten als functie van de afstand tusschen het molecuul (resp. atoom) en het metaaloppervlak [4]).

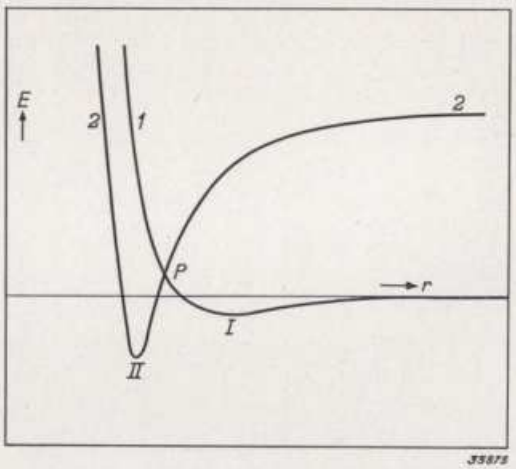


Fig. 5. Potentieele energie als functie van de afstand van het molybdeenoppervlak: *1* voor een zuurstofmolecuul, *2* voor twee zuurstofatomen. De atomen worden sterker en op een kleinere evenwichtsafstand van het oppervlak gebonden dan de moleculen.

Men verkrijgt dan een diagram, zooals in *fig. 5* is weergegeven. Verticaal is uitgezet de potentieele energie van het geadsorbeerde molecuul resp. atoom. Voor een bepaalde afstand heeft de potentieele energie een minimum en dit is de afstand van de wand, waarop zich het gebonden deeltje in evenwicht bevindt. Voor het atoom is deze afstand kleiner dan voor het molecuul, daar het atoom een kleinere diameter heeft. Verder is de diepte van het minimum voor het atoom belangrijk grooter, daar de chemische binding veel sterker is

[4]) Deze beschouwing van de geactiveerde adsorptie werd het eerst gegeven door J. E. Lennard Jones, Trans. Farad. Soc. **28**, 333, 1932.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

dan de binding door van der Waalssche krachten.

Wij zien nu, dat een molecuul het eerst door van der Waalssche krachten zal worden gebonden en hierbij in het potentiaalminimum *I* terecht zal komen. Bij een voldoend lage temperatuur zal het in dit minimum rustig blijven liggen. Bij kamertemperatuur worden de moleculen echter voldoende sterk geagiteerd om trillingen uit te voeren, en hierbij kan het voorkomen, dat het punt *P* plotseling wordt gepasseerd. Dit beteekent, dat het molecuul in atomen kan dissocieeren, zonder dat er verder energie aan behoeft te worden toegevoerd. De atomen gedragen zich nu, zooals af te lezen is uit de potentiaalkromme 2, dwz. ze worden chemisch gebonden op een afstand, gegeven door de plaats van het potentiaalminimum *II*.

De grootte van deze afstand kan men weer bepalen door uit de gemeten contactweerstand de afstand tusschen de contactstukken te berekenen. Hierbij ontstaat echter de moeilijkheid, dat de uittree-arbeid φ in het geval van geactiveerde adsorptie niet bekend is. Is het molybdeen-oppervlak met een laag van moleculen bedekt, zooals in het geval van adsorptie door van der Waalsche krachten, dan kan men — zooals boven is geschied — aannemen, dat de uittree-arbeid van een electron niet belangrijk zal verschillen van die uit het schoone molybdeen-oppervlak, welke 3,8 volt bedraagt. Is het oppervlak echter bedekt met chemisch gebonden zuurstof-atomen, dan zijn deze negatief geladen [5]). De electronen, welke uit het metaal treden, worden door deze negatieve lading teruggestooten, en hierdoor wordt de uittree-arbeid vergroot tot bijv. 6 V of meer.

Daar de juiste waarde van de uittree-arbeid niet bekend is, hebben we de berekening van *d* uitgevoerd voor twee waarden van φ: een waarde van 3,8 V, welke zeker te klein is en een waarde van 7 V, welke zeer waarschijnlijk te groot is. De gestippelde krommen in fig. 2 geven de resultaten weer; deze zijn afgeleid uit kromme *II*. Men vindt dat de dikte van de zuurstoflaag na ongeveer 5 uur practisch niet meer verandert. Met $\varphi = 3{,}8$ volt berekent men een afstand tusschen de contactstukken van 5,8 Å, terwijl met $\varphi = 7$ volt een afstand van 3,8 Å wordt gevonden. De werkelijke afstand is waarschijnlijk beneden 5 Å gelegen en in elk geval kleiner dan de afstand, die in het geval van adsorptie door van der Waalssche krachten optreedt, zooals ook bij het teekenen van de potentiaalkrommen werd ondersteld.

[5]) Dit is gebleken uit onderzoekingen van de electronenemissie van het in scheikundig opzicht met het molybdeen nauw verwante wolfraam.

Migratie van zuurstofmoleculen over het oppervlak

Bij de tot nu toe beschreven proeven werden telkens, wanneer men zuurstof toeliet of wegpompte, de contactstukken van elkaar afgelicht, zoodat de contactoppervlakken gemakkelijk bereikbaar waren voor de omringende zuurstofmoleculen. Indien men echter de volkomen schoone contacten op elkaar drukt en pas daarna zuurstof toelaat, dan blijkt bij lage temperatuur (—160 °C) in het geheel geen verhooging van de weerstand op te treden. Bij kamertemperatuur gaat de weerstand geleidelijk stijgen, echter veel langzamer dan indien er direct contact tusschen de zuurstof en het molybdeen was geweest (zie *fig. 6*).

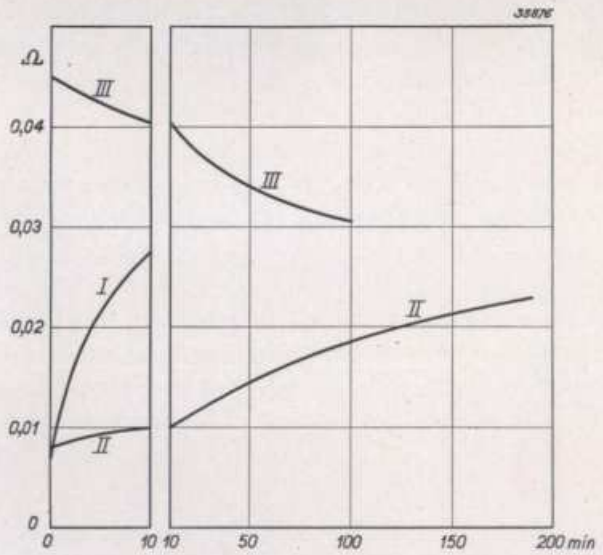


Fig. 6. Kromme *I*: Verloop van de contactweerstand als functie van de tijd voor een molybdeen-contact, waarvan de contactstukken bij kamertemperatuur blootgesteld worden aan zuurstof en eerst daarna op elkaar gedrukt worden (komt dus overeen met kromme *I* van fig. 2).

Kromme *II*: Hetzelfde als kromme *I* voor het geval, dat de contactstukken van het begin af op elkaar blijven gedrukt, zoodat ze voor de zuurstofmoleculen niet direct toegankelijk zijn.

Kromme *III*: Verloop van de contactweerstand als functie van de tijd na het wegpompen van de zuurstof voor een contact, waarvan de oppervlakken blootgesteld werden aan zuurstof en daarna op elkaar werden gedrukt, zoodat de zuurstofmoleculen niet gemakkelijk konden ontsnappen.

Men kan hieruit concludeeren, dat de door van der Waalssche krachten geadsorbeerde moleculen bij lage temperatuur op hun plaats blijven zitten, bij kamertemperatuur daarentegen over het oppervlak zwerven (migreeren) en daarbij ook tusschen de aanrakingsoppervlakken dringen. Tegelijkertijd vindt het reeds beschreven proces der geactiveerde adsorptie plaats, dwz. de moleculen geraken op een bepaald oogenblik in gedissocieerde toestand; de zoo gevormde zuurstofatomen worden ter plaatse chemisch gebonden, waarmee hun zwervende beweging ophoudt. Op deze wijze wordt

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

het molybdeen geleidelijk — ook tusschen de aanrakingsoppervlakken — met een atomaire zuurstoflaag bedekt. Is deze bedekking volledig, dan zou men zich kunnen voorstellen, dat boven de laag van zuurstofatomen nog een laag van zuurstofmoleculen wordt gevormd, welke eveneens tusschen de contactvlakken dringt Men kan dit nagaan door te onderzoeken, hoe de weerstand verandert, wanneer de zuurstof wordt weggepompt. Was een laag van zuurstofmoleculen aanwezig, dan zouden deze bij vermindering van de druk geleidelijk weg moeten kruipen uit het aanrakingsoppervlak, zoodat de overgangsweerstand zou moeten afnemen. Bestaat de zuurstoflaag tusschen de aanrakingsoppervlakken echter geheel uit zuurstofatomen, dan zullen deze zelfs bij kamertemperatuur op hun plaats blijven zitten, zoodat de contactweerstand bij het wegpompen van de zuurstof in het geheel niet verandert.

Dit laatste werd inderdaad waargenomen, wanneer de contactstukken in op elkaar gedrukte toestand ongeveer 3 uur lang aan zuurstof werden blootgesteld. Hieruit volgt, dat de moleculen, welke tusschen de aanrakingsoppervlakken kruipen, geheel in atomen worden gesplitst. Stelt men het contact daarentegen in geopende toestand aan zuurstof bloot, dan vindt men, dat de contactweerstand na het sluiten van het contact en wegpompen van de zuurstof gedeeltelijk weer verdwijnt, zooals kromme *III* van fig. 6 laat zien. Bij een open contact ontstaat dus blijkbaar wèl een laag van moleculen boven de laag van zuurstofatomen.

Wil men de overgangsweerstand geheel doen verdwijnen, dan moet men het molybdeen tijdens het pompen zoo hoog verhitten, dat ook de chemisch gebonden zuurstofatomen verdampen. Zooals reeds in het begin werd opgemerkt is het smeltpunt van molybdeen hoog genoeg om deze bewerking uit te voeren: een verhitting tot 1500 °C leidt tot het gewenschte resultaat.

Wat er hierbij precies gebeurt, valt nog niet met zekerheid te zeggen. Het schijnt, dat de atomaire zuurstoflaag niet rechtstreeks verdampt, maar te voren in een andere toestand wordt overgevoerd. Verhit men nl. het molybdeen minder sterk, bijv. op 1100 °C, dan constateert men geen afname van de weerstand, maar een vrij belangrijke toename. Het is mogelijk, dat dit te wijten is aan het vormen van moleculen van molybdeenoxyde (MoO_3); dit oxyde heeft een belangrijk grootere dampspanning dan molybdeen zelf, zoodat bij verhitting op 1500 °C de moleculen kunnen verdampen en het oppervlak volkomen schoon wordt.

NORMALISATIE VAN ACOUSTISCHE GROOTHEDEN

389.6 : 534.6.081.1

In dit tijdschrift werden in Februari 1937 [1]) tabellen gegeven voor de geluidsdruk en de snelheid der luchtdeeltjes bij verschillend geluidsniveau, alsmede voor de frequentie van de verschillende muzikale tonen. Daarbij moest de opmerking worden gemaakt, dat het in hooge mate te betreuren was, dat in verschillende landen en door verschillende onderzoekers verschillende normalen gebruikt werden. Aangezien hierin sinds eenige tijd verandering is gekomen, doordat een internationale regeling is getroffen, is het wellicht niet ondienstig de met deze regeling in overeenstemming gebrachte tabellen hier weer te geven.

Het geluidsniveau wordt aangegeven in „phoon", d.i. het aantal decibel boven een bepaalde drempelwaarde. Als drempelwaarde, dwz. als geluidsintensiteit, waaraan het niveau nul phoon wordt toegekend, werd in Juni 1937 op een conferentie te Parijs, bijeengeroepen op initiatief van het C.C.I.F. (Comité Consultatif International Téléphonique), de intensiteit 10^{-16} watt/cm² vastgesteld, overeenkomende met een effectieve geluidsdruk van $2 \cdot 10^{-4}$ dyne/cm². In *tabel I* zijn de effectieve waarden van de geluidsdruk en van de snelheid der luchtdeeltjes aangegeven voor de geluidsniveaus van 0 tot 120 phoon. Met behulp van de gegeven waarden voor de, met 1 phoon opklimmende, niveaus van 60 tot 80 phoon kan in de hoofdtabel geïnterpoleerd worden, zooals daarbij is toegelicht.

De regeling, wat betreft de frequenties der muzikale tonen, kwam in Mei 1939 in Londen tot stand; hier werd op een vergadering van één der

[1]) R. Vermeulen, Octaaf en decibel, Philips techn. T. 2, 47, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

comités van de I.S.A. (International Federation of Standardizing Associations) de frequentie van de *a*, waarvan bij het stemmen der muziekinstrumenten wordt uitgegaan, vastgesteld op 440 per/sec [2]). In *tabel II* zijn hiervan uitgaande de frequenties der andere tonen van de gelijkzwevend getempereerde stemming aangegeven. De laatste kolom bevat de intervallen voor één octaaf.

R. Vermeulen.

[2]) Vgl. ook: Balth. van der Pol en C. C. J. Addink, De stemming van muziekinstrumenten en orkesten, Philips techn. T. 4, 217, 1939. In dit artikel werd geconstateerd, dat de in concerten practisch voorkomende stemmingen ver uiteenliepen en dat het gemiddelde der gemeten frequenties van de *a* juist bij 440 per/sec lag.

Tabel I

Niveau (phoon)	Intensiteit (W/cm²)	Geluidsdruk		Luchtsnelheid	
0	10^{-16}	0,2	millidyne/cm²	0,05	micron/sec
10	10^{-15}	0,63		0,16	
20	10^{-14}	2		0,5	
30	10^{-13}	6,3		1,6	
40	10^{-12}	20		5	
50	10^{-11}	63		16	
60	10^{-10}	0,2	dyne/cm²	50	
70	10^{-9}	0,63		160	
80	10^{-8}	2		0,05	cm/sec
90	10^{-7}	6,3		0,16	
100	10^{-6}	20		0,5	
110	10^{-5}	63		1,6	
120	10^{-4}	200		5	

Tabel I (vervolg)

Niveau (phoon)	Intensiteit (W/cm²)	Geluidsdruk		Luchtsnelheid	
60	1,0	0,2	dyne/cm²	50	micron/sec
61	1,26	0,22		56	
62	1,58	0,25		63	
63	2,0	0,28		71	
64	2,5	0,32		79	
65	3,2	0,36		89	
66	4,0	0,40		100	
67	5,0	0,45		112	
68	6,3	0,50		126	
69	8,0	0,56		140	
70	10	0,63		158	
71	12,6	0,71		177	
72	15,8	0,80		200	
73	20	0,89		220	
74	25	1,00		250	
75	32	11,2		280	
76	40	12,6		310	
77	50	14		350	
78	63	16		400	
79	80	18		460	
80	100	20		500	

Interpoleeren: om de 20 phoon herhalen zich alle waarden, behoudens vermenigvuldiging met een macht van 10. Is bijv. het geluidsniveau 27 phoon, dan ligt de geluidsintensiteit tusschen 10^{-14} en 10^{-13} W/cm²; uit de fijnere tabel voor de, het meest voorkomende, waarden tusschen 60 en 80 phoon vindt men bij $27 + 2 \cdot 20 = 67$ phoon het getal 5,0; dus $5 \cdot 10^{-14}$ W/cm². Evenzoo vindt men de geluidsdruk 4,5 millidyne/cm² en de luchtsnelheid 1,12 μ/sec.

Tabel II

Octaaf / Toon	C_2-C_1	C_1-C	C-c	c-c^1	c^1-c^2	c^2-c^3	c^3-c^4	c^4-c^5	c^5-c^6	c^6-c^7	Interval
c	16,35	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,5	2093,0	4186,0	8372	1,0000
cis=des	17,32	34,65	69,30	138,59	277,18	554,36	1108,7	2217,5	4434,9	8870	1,0595
d	18,35	36,71	73,42	146,83	293,67	587,33	1174,7	2349,3	4698,6	9397	1,1225
dis=es	19,45	38,89	77,78	155,56	311,13	622,26	1244,5	2489,0	4978,0	9956	1,1892
e	20,60	41,20	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,5	2637,0	5274,0	10548	1,2599
f	21,83	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,9	2793,8	5587,6	11175	1,3348
fis=ges	23,12	46,25	92,50	185,00	369,99	739,99	1480,0	2960,0	5919,9	11840	1,4142
g	24,50	49,00	98,00	196,00	392,00	783,99	1568,0	3136,0	6271,9	12544	1,4983
gis=as	25,96	51,91	103,83	207,65	415,30	830,61	1661,2	2322,4	6644,9	13290	1,5874
a	27,50	55,00	110,00	220,00	**440,00**	880,00	1760,0	3520,0	7040,0	14080	1,6818
ais=bes	29,14	58,27	116,54	233,08	466,16	932,32	1864,6	3729,3	7458,6	14917	1,7818
b	30,87	61,73	123,47	246,94	493,88	987,76	1975,5	3951,1	7902,1	15804	1,8877
c	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,50	2093,0	4186,0	8372,0	16744	2,0000

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

1494: J. H. de Boer and J. D. Fast: Electrolysis of solid solutions of oxygen in metallic zirconium (Rec. Trav. chim. Pays Bas **59**, 161-167, Febr. 1940).

De roosterconstanten en de dichtheid van zirconium worden bepaald voor verschillende hoeveelheden opgeloste zuurstof. Blijkens de resultaten bevinden zich de zuurstofatomen in de tusschenruimten van het zirconiumrooster. Bij hooge temperaturen hebben ze daarin een groote bewegelijkheid. De zuurstof beweegt zich onder invloed van een electrisch veld door het rooster als een negatief ion, waardoor de zuurstof-concentratie (en daardoor tevens de electrische weerstand) aan de anodekant toe- en aan de kathodekant afneemt.

1495*: M. J. O. Strutt: Moderne Mehrgitter-Elektronenröhren. Bau-Arbeitsweise-Eigenschaften - Elektrophysikalische Grundlagen. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage, Springer, Berlin, 1940, 283 S.

Een overzicht van de eerste druk werd gegeven onder **1279*** en **1350***. Deze tweede druk houdt onder meer rekening met de inmiddels ontwikkelde nieuwste buistypen.

1496: A. Bouwers: On the behaviour of slow neutrons in water and paraffine (Physica **7**, 193-198, Maart 1940).

De opbrengst van een krachtige bron van neutronen kan op eenvoudige wijze gemeten worden met behulp van een zeer dunne detector voor langzame neutronen, die geplaatst wordt in een waterstofrijke stof, die de bron omringt. Twee voor de interpretatie van de proeven belangrijke grootheden: de gemiddelde weglengte δ van een neutron in deze dunne detector en het gemiddelde aantal botsingen, vóór het neutron opgevangen wordt, worden besproken. Bij dit aantal botsingen speelt de reflectiecoëfficient (albedo) van een plat grensvlak een rol; de waarde van deze coëfficient kon door elementaire beschouwingen worden bepaald.

*) Van publicaties, gemerkt met een *, is geen voor verspreiding voldoend aantal overdrukken beschikbaar. Van de andere publicaties verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvraag gaarne overdrukken.

1497: W. de Groot and K. F. Niessen: Note on the „albedo" of a hydrogenated substance for slow moving neutrons (Physica **7**, 199-204, Maart 1940).

Door O. Halpern, R. Lüneburg, O. Clark (Phys. Rev. **53**, 173, 1938) is voor het reflectievermogen β van een gehydreerde stof voor langzame neutronen, de zoogenaamde albedo, de formule gegeven: $\beta = 1 - 2{,}31/\sqrt{N}$, waarin N het gemiddelde aantal botsingen voorstelt, dat een neutron vóór zijn invanging ondergaat. Door schatting van de volgende term wordt deze formule uitgebreid tot: $\beta = 1 - 2{,}31/\sqrt{N} + 2{,}86/N$.

1498: N. Warmoltz: Some properties of an anchored cathode spot of a mercury arc at low pressure (Physica **7**, 209-216, Maart 1940).

De kathodevlek van een kwikboog, welke in het algemeen op het kwikoppervlak een dansende beweging uitvoert, kan vastgelegd worden, door in de kwikplas een metalen electrode (het „anker") te dompelen. Voor verschillende uitvoeringen van het anker wordt de verdampingssnelheid van het kwik bepaald en wordt nagegaan, hoe de maximale stroomsterkte, waarbij de kathodevlek nog aan het anker blijft hangen, afhangt van de temperatuur. De proeven vestigen de indruk, dat het voor de verankering van groot belang is, dat het anker door het kwik wordt bevochtigd.

1499: J. A. M. van Liempt and J. A. de Vriend: A new method for adjusting synchronizers, also suitable for testing focal plane shutters (Physica **7**, 217-224, Maart 1940).

Een nieuwe methode wordt beschreven om de voor gelijktijdige bediening van sluiter en flitslamp benoodigde synchronisator te kunnen instellen. Als meetinstrument dient een oscillograaf met vallende plaat, terwijl bij een vroeger aangegeven apparatuur een kathodestraaloscillograaf moest worden toegepast. Verdere voordeelen van de nieuwe apparatuur zijn, dat ze geijkt kan worden, zonder flitslampen te verspillen en dat ze tevens bruikbaar is voor het onderzoek van spleetsluiters.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!